

TEKNISK RAPPORT



BRABRAND SØ 1997-1999
TILSTAND OG UDVIKLING

APRIL 2000

ÅRHUS AMT
NATUR OG MILJØ



UDGIVER: Århus Amt, Natur og Miljø, Lyseng Alle 1, 8270 Højbjerg

TITEL : Brabrand Sø 1997 - 1999, tilstand og udvikling

FORFATTER : Torben Bramming Jørgensen

RESUME : Rapporten beskriver Brabrand Sø's nuværende tilstand og den udvikling, som er sket i søen i de senere år. Desuden er restaureringen af søen, som foregik fra 1988 til 1995 gennemgået og effekten for søens tilstand beskrevet.

Brabrand Sø er en lavvandet sø, som ligger umiddelbart vest for Århus i den nederste del af Århus Å's vandsystem. Gennemstrømningen er hurtig og vandet opholder sig i ca. 5 dage i søen i vintermånederne og 20 - 25 dage i sommermånederne. Oplandet er stort og tæt befolket. Samtidigt er der en intensiv udnyttelse af jorden i oplandet. Derfor har tilførslen af næringsstoffer til Brabrand Sø været stor i en lang årrække.

I 1980'erne var der en årlig fosfortilførsel på ca. 100 ton. Omkring 1990 blev der indført fosforfjernelse på alle større rensningsanlæg i oplandet, hvilket resulterede i en markant reduktion i fosfortilførslen. I 1997 blev der tilført 11,3 ton fosfor til Brabrand Sø (185 µg P/l som en gennemsnitlig indløbskoncentration). Kvælstoftilførslen varierer fra år til år afhængigt af vandafstrømningen. I 1997 blev der tilført 333 ton og indløbskoncentrationen var i gennemsnit 5,4 mg N/l. De dyrkede jorde udgør langt den største del af kvælstofbidraget, medens rensningsanlæggene er den største fosforkilde.

Fra 1988 til 1995 blev der gravet ca. 500.000 m³ sediment op fra søbunden, som indeholdt omkring 300 ton fosfor. Restaureringen har medført, at der ikke længere sker en væsentlig fosforfrigivelse fra sedimentet. I 1997 var der således en lille nettotilbageholdelse i søen. Fosforniveauet i Brabrand Sø reguleres derfor i dag primært af fosforindholdet i det tilstrømmende vand. Det er afgørende for en positiv udvikling i Brabrand Sø, at fosfortilførslerne reduceres yderligere i de kommende år.

Brabrand Sø er fortsat domineret af store algemængder og uklart vand. Der er ingen undervandsplanter og fiskebestanden er domineret af skaller og brasen. Alt i alt er de biologiske forhold karakteristiske for en lavvandet sø, som har været meget næringsrig i en lang årrække. Fosforconcentrationen er dog blevet væsentligt mindre i de senere år og var i 1999 i gennemsnit 200 µg P/l sammenlignet med et niveau omkring 1000 µg P/l før 1990. Sigtdybden og de biologiske forhold i øvrigt vil dog først ændres markant, når fosforniveauet er reduceret til 100 µg P/l eller mindre.

Fosfortilførslerne reduceres yderligere i de kommende år og det forventes, at den samlede fosfortilførsel vil være mindre end 10 ton indenfor en kortere årrække. Viby rensningsanlæg er i 1999 afskåret til Århus Å nedstrøms Brabrand Sø. Herved reduceres den samlede spildevandsbelastning med ca. 40 %. Der vil i de kommende år endvidere ske en reduktion af fosfortilførslen fra såvel den spredte bebyggelse som regnvandsoverløbene. Endelig vil en etablering af Årslev Engsø umiddelbart opstrøms Brabrand Sø sandsynligvis resultere i en generel tilbageholdelse af 10 - 20 % af de kvælstof- og fosformængder, som tilføres via Århus Å.

Brabrand Sø er C-målsat med en maksimal årlig fosfortilførsel på 13 ton. Den samlede fosfortilførsel blev dermed overholdt i 1997, men såvel de regnvandsbetingede udledninger som den spredte bebyggelse overskred de målsatte udledninger. At den samlede tilførsel overholdt Vandkvalitetsplanens retningslinier skyldtes primært, at 1997 var et forholdsvist tørt år. Koncentrationen i det tilførte vand var nemlig større end målet i Vandkvalitetsplanen (185 µg P/l imod 150 µg P/l). Målsætningen for Brabrand Sø var dermed ikke opfyldt i 1997.

EMNEORD : Søer, stofbalance, eutrofiering, næringsstoffer, sedimentfjernelse, fosforfrigivelse, alger

FORMAT : A4

SIDETAL : 51 + bilag

OPLAG : 1000

FORSIDEFOTO : Naturforvaltningen, Århus Kommune

ISBN : 87-7906-093-5

TRYK : Århus Amts Trykkeri April 2000

TEKNISK RAPPORT

BRABRAND SØ 1997 - 1999

TILSTAND OG UDVIKLING

DANMARKS
MILJØUNDERSØGELSER
BIBLIOTEKET
Vejsøvej 25, Postboks 314
8600 Silkeborg

Indholdsfortegnelse

Sammenfatning	5
Indledning	9
Brabrand Sø's historie.....	10
Vand- og stoftransport	13
Vandbalance	14
Stofbalance	14
Kildeopsplitning.....	16
Vandkvalitetsplan	18
Sedimentfjernelse i Brabrand Sø	19
Sediment og stofomsætning	23
Sedimentkarakteristik.....	23
Sedimentbalance	24
Stofomsætning over året	26
Vandkemi	29
Sammenhæng mellem vandkemiske parametre.....	33
Alger og dyreplankton	35
Alger	35
Dyreplankton.....	37
Udviklingen i Brabrand Sø	41
Målsætning og fremtidige udsigter	45
Målsætning og fremtidige udsigter	45
Årslev Engsø	46
Brabrand Sø's fremtid som naturområde	46
Referencer	49
Bilagsoversigt	51

Sammenfatning

Denne rapport beskriver tilstanden i Brabrand Sø og den udvikling, søen har gennemgået i de seneste 10 - 20 år. Rapporten tager udgangspunkt i undersøgelser af de vandkemiske forhold i søen i 1997 og 1999. Derudover vil restaureringen af søen, som varede i 8 år og blev afsluttet i 1995, blive gennemgået og den effekt, som sedimentfjernelsen har haft på søen, blive beskrevet.

Brabrand Sø

Brabrand Sø er en lavvandet sø på ca. 1,5 km², der ligger umiddelbart vest for Århus i den nederste del af Århus Å's vandløbssystem.

Århus Å, som er det største tilløb, løber til søen fra vest. Derudover bliver der også tilført vand til søen fra Døde Å, der munder ud i det sydøstlige hjørne af søen. Der er en hurtig gennemstrømning af søen. Vandets opholdstid varierer fra ca. 5 dage i den våde del af året til 20-25 dage i den tørre. Der er betydelige vandstandsvariationer i søen og det er almindeligt, at engene omkring søen bliver oversvømmet i våde perioder. Århus Å fortsætter nedstrøms søen og løber omkring 6 km igennem Århus by, inden åen løber ud i Århus Bugt.

Oplandet til Brabrand Sø er stort og tæt befolket. Den intensive udnyttelse af jorden og de mange mennesker, der bor i oplandet, har medført, at tilførslen af næringsstoffer til Brabrand sø har været særdeles stor igennem en længere årrække.

Restaurering og stoftransport

Næringsstofftilførslen er steget jævnt i de sidste 100 år og i starten af 1980'erne blev der tilført omkring 100 ton fosfor til søen om året. Disse store tilførsler af først og fremmest fosfor har medført, at Brabrand Sø var og fortsat er meget næringsrig.

Det blev i midten af 1980'erne besluttet at forsøge at ændre tilstanden i søen. Dette skulle i første omgang ske ved at reducere næringsstofbelastningen til søen, hvilket blev gjort ved at indføre fosforfjernelse på alle større rensningsanlæg i oplandet til søen.

Da søen har fået tilført store næringsstofmængder i adskillige år, lå der en meget stor fosforpulje i sedimentet. Efter omfattende undersøgelser af sedimentforholdene i søen blev det derfor også besluttet at fjerne den del af sedimentet, som indeholdt de største fosformængder. I følge planen skulle der i alt fjernes ca. 400.000 m³

sediment fra søen.

Opgravningen blev afsluttet i 1995. Der var da fjernet næsten 500.000 m³ sediment fra søen.

Fosfortilførslen har siden 1990 varieret mellem 10 og 20 ton om året. I 1997 kom der 11,3 ton fosfor til Brabrand Sø og indløbskoncentrationen var 185 µg P/l. Tilførslerne er dermed fortsat større end ønsket, selvom der er sket en betragtelig reduktion siden 1980'erne.

I restaureringsprojektets første år, der samtidigt var de første år efter indførelsen af fosforfjernelse på rensningsanlæggene, var der en forholdsvis stor fosforfrigivelse fra sedimentet og fosfortransporten ud af søen var større end tilførslerne. I takt med at opgravningen skred frem, aftog fosforfrigivelsen og i de senere år har der været en (omend lille) netto fosfortilbageholdelse i Brabrand Sø. I 1997 blev der tilbageholdt ca. 300 kg eller 3 % af de samlede tilførsler.

Kvælstoftilførslen var 333 ton i 1997, hvilket svarer til en gennemsnitlig indløbskoncentration på 5,4 mg N/l. Siden 1980'erne er der sket et fald i kvælstofkoncentrationen i det tilførte vand fra et niveau omkring 9 mg N/l. Årsagen er sandsynligvis mindre nedbør og derigennem en reduceret kvælstofudvaskningen i de senere år (og særligt i 1997) snarere end ændringer i dyrkningspraksis i oplandet. Af de 333 ton blev omkring 100 ton fjernet under vandets passage af søen. Det svarer til ca. 30 % af tilførslen.

Det er bidraget fra de dyrkede jorde, som udgør langt den største del af den samlede kvælstoftilførsel.

Hvad fosfortilførslen angår, udgør tilførslen fra rensningsanlæggene med 35 % den største del af den samlede fosfortilførsel. Det er videre beregnet, at fosforbidragene fra henholdsvis regnvandsoverløb, de dyrkede jorde og den spredte bebyggelse var 18, 18 og 12 % af de samlede fosfortilførsler.

Tilstanden i søen

På grund af de store næringsstofftilførsler har Brabrand Sø været næringsrig igennem mange år. Selvom der nu ikke længere tilføres så store fosformængder, er søen fortsat domineret af mange alger og uklart vand. Sigtedybden i sommerperioden har i de sidste 10-20 år været mindre end 0,5 m, der er ingen undervandsplanter men en stor bestand af fredfisk - primært skalle og brasen. Alt i alt er de biologiske forhold i søen tilpasset de høje

næringsstofniveauer, som har været igennem årtier.

Fosforkoncentrationen er dog faldet jævnt igennem de sidste 10 år. Før 1990 var den gennemsnitlige fosforkoncentration i sommermånederne omkring 1000 $\mu\text{g P/l}$, medens niveauet i 1999 var ca. 200 $\mu\text{g P/l}$. Fosforkoncentrationen er dermed fortsat høj og ikke tilfredsstillende og der er rigelige fosformængder til stede i søen stort set hele året rundt.

I 1999 var den gennemsnitlige sigtddybde i sommerhalvåret 0,6 meter. Vandet er dermed stadig meget uklart, men sigtddybden er dog blevet større end i de foregående år. Det er først og fremmest de mange alger, der forringer sigtddybden. Målt som klorofyl er algemængden reduceret fra et gennemsnitligt niveau i sommerhalvåret på omkring eller over 200 $\mu\text{g/l}$ i starten af 1990'erne til 93 $\mu\text{g/l}$ i 1999.

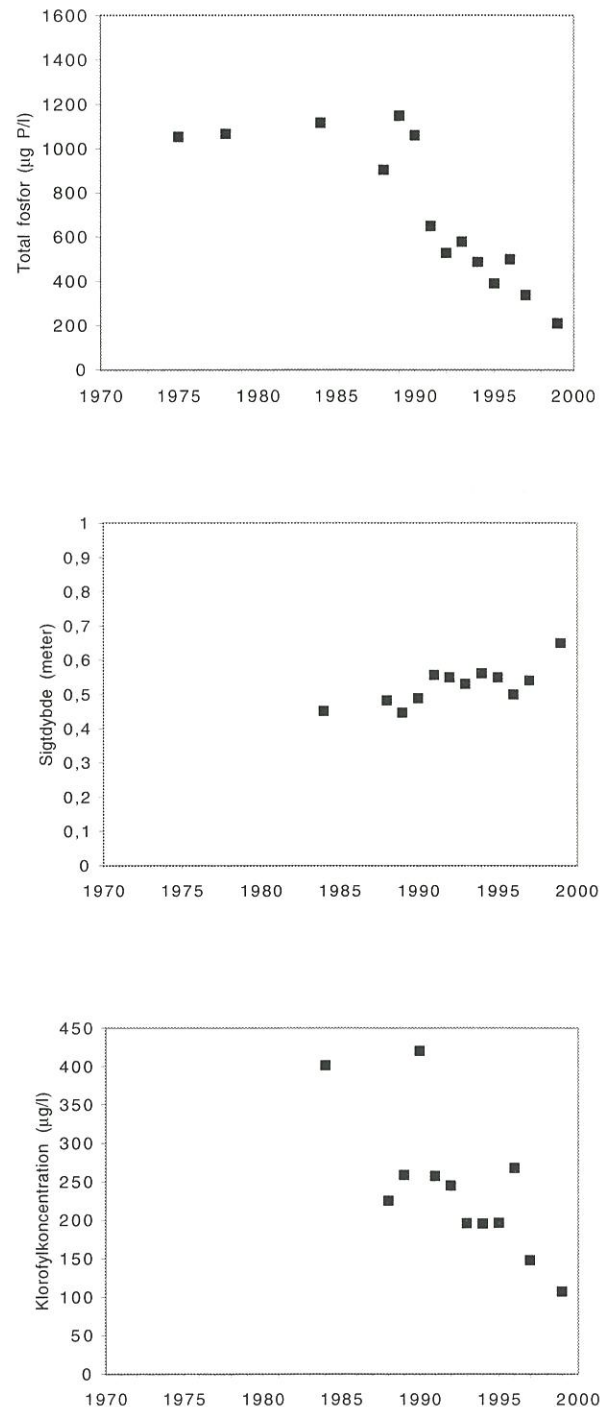
Tidligere dominerede kiselalgerne fuldstændigt i Brabrand Sø. I dag er der en smule mere variation i algesammensætningen, idet blågrønalgerne nu er flest i sensommeren og efteråret. Selvom den samlede algemængde er halveret, er sigtddybden ikke tilsvarende blevet større, fordi blågrønalgerne koncentrerer sig i overfladen og effektivt hindrer lyset i at trænge ned i vandet.

Dyreplankton og fisk er ikke undersøgt i de senere år. Der er imidlertid ikke noget, der tyder på, at der er sket væsentlige ændringer i de to dyregrupper i Brabrand Sø. De dominerende fiskearter i Brabrand Sø er skalle og brasen. Disse fisk spiser i vid udstrækning dyreplankton og gerne de største individer. Dyreplanktonet er derfor fortsat domineret af mindre arter, som ikke kan regulere algemængden i samme omfang som større dyreplanktonarter.

Yderligere er algernes sammensætning ændret til i højere grad at bestå af blågrønalger, som ofte ikke er så god en fødekilde. Dyreplanktonet er derfor fortsat en presset dyregruppe i søen, der ikke er i stand til at foretage en effektiv regulering af algerne. Algerne reguleres dermed fortsat hovedsagligt af næringsstofftilgængeligheden.

Vandkvalitetsplan og fremtidig tilstand

Opravningen af det fosforholdige sediment har sikret, at der ikke længere er nogen stor fosforfrigivelse fra søens bund og at der i dag er en nettofosfortilbageholdelse i Brabrand Sø. Fosforindholdet i søen reguleres dermed af de eksterne tilførsler. I følge Vandkvalitetsplanen må den samlede årlige fosfortilførsel ikke overstige 13 ton om året i et år med normal nedbør. I 1997 blev der tilført 11,3 ton, men en væsentlig forklaring på den "lille" totale fosfortilførsel var, at vandtilførslen var mindre end normalt. Derfor var den gennemsnitlige fos-



Figur 1
Udviklingen i koncentrationen af total fosfor (øverst), sigtddybde (i midten) og i klorofylkoncentrationen i overfladevandet i Brabrand Sø i måleårene fra 1975 til 1999 angivet som sommergennemsnit.

forkoncentration på 185 µg P/l i det tilførte vand da også højere end den målsatte maksimumsværdi på 150 µg P/l. Desuden var bidraget fra såvel de regnvandsbetingede udledninger som den spredte bebyggelse større end foreskrevet i Vandkvalitetsplanen.

Målsætningen for Brabrand Sø var dermed ikke opfyldt i 1997.

Det forventes, at fosforbelastningen til Brabrand Sø bliver mindre i de kommende år. Afløbet fra Viby rensningsanlæg er i 1999 afskåret til Århus Å nedstrøms Brabrand Sø og kommunerne i søens opland arbejder fortsat på at reducere næringsstofbidraget fra den spredte bebyggelse og de regnvandsbetingede udledninger. Endelig vil etablering af vådområder opstrøms Brabrand Sø, herunder Årslev Eng sø, generelt mindske tilførslen af næringsstoffer til Brabrand Sø.

For at Brabrand Sø kan opfylde sin målsætning, er det nødvendigt, at fosforkoncentrationen i søvandet i sommerhalvåret som et gennemsnit ikke overstiger 120 - 130 µg P/l. Herved kan der forventes en sigt dybde på ca. 0,8 meter i sommerhalvåret. Med de nævnte reduktioner i fosforbelastningen må dette mål anses for opnåeligt indenfor en kortere årrække.

Selvom kravene i Vandkvalitetsplanen opfyldes i de kommende år, kan det ikke forventes, at undervandsvegetation etablerer sig i søen i et væsentligt omfang. Her-til er det sandsynligvis nødvendigt, at fosforkoncentrationen i søen nedbringes yderligere til et gennemsnitligt niveau på mindre end 70 µg P/l, hvilket kræver, at der maksimalt tilføres 8 - 9 ton fosfor om året, eller at den gennemsnitlige indløbskoncentration ikke overstiger 100 µg P/l.

Der er dog ingen tvivl om, at forholdene i søen vil ændre sig i en positiv retning, hvis belastningen reduceres til det niveau, som er angivet i Vandkvalitetsplanen.

Partikulær COD	(mg/l)	16,9
Klorofyl	(µg/l)	93
Sigt dybde	(meter)	0,6
Ammonium	(mg N/l)	0,017
Nitrat	(mg N/l)	0,903
Total kvælstof	(mg N/l)	2,47
Orthofosfat	(µg P/l)	21
Total fosfor	(µg P/l)	199
Silicium	(mg Si/l)	2,34
pH		7,9
Suspenderet tørstof	(mg/l)	31,3
Suspenderet glødetab	(mg/l)	16,3

Tabel 1

Udvalgte sommergennemsnit fra overfladevandet i Brabrand Sø i 1999.

Indledning

Brabrand Sø er en meget lavvandet sø på omkring 1,5 km². Søen ligger i den vestlige udkant af Århus. Søkarakteristika kan ses i tabel 2.

Århus Å, som er det største tilløb, løber til søen fra vest. Derudover bliver der også tilført vand til søen fra Døde Å, der munder ud i det sydøstlige hjørne af søen. Søen tilføres store vandmængder og der er derfor en hurtig vandudskiftning i søen. Vandets opholdstid varierer fra ca. 5 dage i den våde del af året til 20-25 dage i den tørre. Der er betydelige vandstandsvariationer i søen og det er almindeligt at engene omkring søen bliver oversvømmede i våde perioder. Århus Å fortsætter nedstrøms søen og løber omkring 6 km igennem Århus by inden åen løber ud i Århus Bugt.

Oplandet til søen er stort og tæt befolket. På grund af opdyrkningen af jorden i oplandet og udretning af Århus Å har materialetransporten i åen været stor igennem mange år. Dette materiale er aflejret i Brabrand Sø. Den intensive udnyttelse af jorden og de mange mennesker, der bor i oplandet, har også medført, at tilførslen af næringsstoffer til Brabrand sø har været særdeles stor igennem en længere årrække. Brabrand Sø var derfor i 1970'erne og '80'erne (og er fortsat) meget næringsrig.

Brabrand Sø blev undersøgt så tidligt som i 1895 af Baagøe og Kølpin Ravn (Baagøe, J. og Kølpin Ravn, F., 1895). På det tidspunkt fandtes der en rig undervandsvegetation undtagen på ganske få områder, hvor dybden var størst (1,5 m). Det beskrives således: "Bunden er overalt skjult af et tæt plantedække, der når næsten helt op til overfladen og er i den grad sammenfiltret, at man umuligt kan bruge sine årer til at ro med." Det hedder videre: "Tilgroningen er åbenbart i rask fremskriden; af de søer vi saa, er denne sikkert den, hvis dage snarest ville være talte."

For hundrede år siden var søen lettere næringsrig men altså også meget planterig med en stor artsrigdom. Der fandtes på daværende tidspunkt 15 forskellige arter af undervandsplanter, herunder 8 vandaksarter.

Igennem de sidste 100 år er næringsstofftilførslen steget jævnt og i starten af 1980'erne blev der tilført omkring 100 ton fosfor til søen om året. Disse store tilførsler af først og fremmest fosfor har skabt en meget eutrofiert sø domineret af en stor produktion af fytoplankton, som har medført, at sigtgybden i sommerperioden i de sidste

Morfometriske data	
Areal	153 ha
Volumen	1,6 mio. m ³
Maksimumsdybde (efter opgravning)	2,7 m
Gennemsnitsdybde (efter opgravning)	1,1 m
Vandets opholdstid	12 dage

Tabel 2

Morfometriske data for Brabrand Sø.

10-20 år har været mindre end 0,5 m. Undervandsplanterne er forsvundet og fiskebestanden er karakteristisk for eutrofierte søer med en stor bestand af "skidtfisk" - primært skalle og brasen.

Restaurering

Det blev i midten af 1980'erne besluttet at forsøge at ændre tilstanden i søen. Dette skulle i første omgang ske ved at reducere næringsstofbelastningen til søen. Der blev derfor indført fosforfjernelse på alle større rensningsanlæg i oplandet.

Da søen har fået tilført store næringsstoffmængder i adskillige år, lå der en meget stor fosforpulje i sedimentet. Efter omfattende undersøgelser af sedimentforholdene i søen blev det også besluttet at fjerne den del af sedimentet, som indeholdt de største fosformængder. Ideelt set ønskede man at fjerne den del, der havde et større fosforindhold end 1 mg P/g tv. I følge planen skulle der i alt fjernes ca. 400.000 m³ sediment fra søen.

Efter 8 års arbejde blev selve sedimentfjernelsen afsluttet i 1995. Der var da fjernet næsten 500.000 m³ sediment fra søen. Sedimentet blev deponeret i to magasiner - et i hver ende af søen. Sedimentet fra det østlige depot er siden brugt som afdækning på en tidligere losseplads, medens det forventes, at det vestlige depot i forbindelse med en nyfredning af området vest for Brabrand Sø får permanent karakter.

Undersøgelser

Der er tidligere foretaget adskillige undersøgelser i Brabrand Sø og i tilløbene til søen.

Baagøe og Kølpin Ravn's undersøgelser var vel de første videnskabelige studier af søen. Siden har søen op igennem dette århundrede lagt vand til forskellige undersøgelser i universitetsmæssig sammenhæng.

De første egentlige undersøgelser foretaget af Århus Amt blev udført i starten af 1970'erne. Siden har Århus Amt jævnligt lavet undersøgelser i søen. Særligt i årene, hvor restaureringsprojektet blev gennemført, blev søen undersøgt for at følge effekten af restaureringen på søens vandkvalitet.

Nu er opgravningen af sediment i Brabrand Sø afsluttet og som en opfølgning på dette projekt har Århus Amt i 1997 og 1999 lavet undersøgelser i søen for at fastlægge status for Brabrand Sø i lyset af de foregående 10 års restaurering.

Denne rapport beskriver tilstanden i Brabrand Sø, udviklingen i søen igennem de senere år samt effekten af sedimentfjernelsen. Dette vil ske ved at inddrage alle undersøgelsesparametre, nemlig stoftransport til og fra søen, stofbalance i søen samt vandkemi, fyto- og zoo-planktonforhold i søen.

Desuden vil projektet omkring Årslev Engsø, som er en planlagt sø umiddelbart vest for Brabrand Sø, kort blive beskrevet, idet en etablering af Årslev Engsø vil have en positiv effekt på tilstanden i Brabrand Sø.

På figur 2 er vist et kort over Brabrand Sø og søens opland med angivelse af de større rensningsanlæg i oplandet.

Brabrand Sø's historie

Brabrand sø ligger i Århus Ådal, som er dannet under sidste istid. Efter isens tilbagetrækning var ådalen en brakvandsfjord, der stod i direkte forbindelse med den nuværende Århus Bugt.

I de forløbne 10.000 år har landhævninger og aflejringer fra Århus Å efterhånden afskåret fjorden fra Århus Bugt og Brabrand Sø blev dannet. Oprindeligt har søen været betydelig større, end den er i dag. For omkring 200 år siden nåede søen stadigt omkring 1 kilometer længere vest på - omtrent ud til Constantinsborg, men vandstandssænkninger og fortsatte aflejringer af materiale fra Århus Å har efterhånden indskrænket søens areal.

Omkring århundredskiftet havde Århus endnu en beskedne størrelse og det meste af Århus Ådal var ubeboet. Århus Å og Brabrand Sø var også på den tid et yndet udflugtsmål. Ofte foregik turen i dampbåd eller med store og små robåde.

Dampbådstrafikken blev forbudt i 1902, fordi skovhjulene hvirvlede åens mudrede bund op og forringede åens vand, som stadigt på det tidspunkt blev brugt som drikkevand.

Robådssejladser fortsatte dog. Mange sejlede helt ud til Brabrand eller til traktørstedet Constantia i Stautrup.

Man kunne også komme til Constantia ved først at tage toget til Brabrand, hvorfra der gik en båd over søen.

For mange århusianere var Constantia et yndet mål for søndagsudflugten og turen på Århus Å og Brabrand Sø var en vigtig del af denne udflugt.

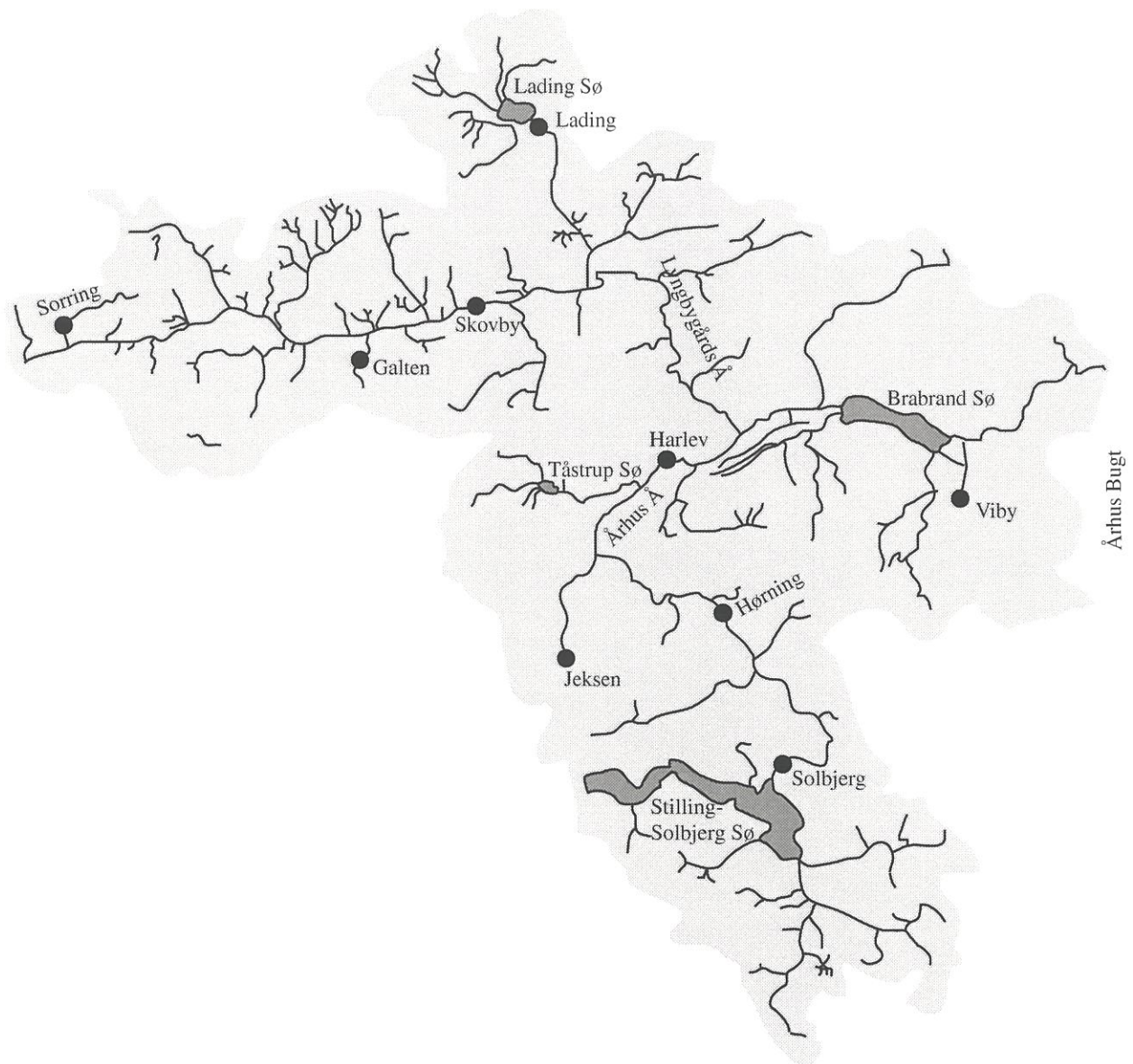
Efterhånden udviklede der sig et stort ønske om en bedre tilgængelighed til søen og i begyndelsen af 1950'erne påbegyndtes anlæggelsen af Brabrand-stien.

Arbejdet stod på i 6 år. Med anlæggelse af stien blev tilgængeligheden til søen betydeligt forbedret og området overgik nu fra at være et udflugtsmål til et nærrekrativt område. Denne udvikling blev forstærket ved den stadige byudvikling i Århus Å-dalen.

Tilstanden i Brabrand Sø har i et vist omfang udviklet sig uafhængigt af udviklingen i nærområdet. I kraft af søens store opland er det nemlig i vid udstrækning udviklingen i landområderne, der har forringet forholdene i søen. I takt med indførelsen af vandklosetter og kloakeringen af de mindre byområder i oplandet blev tilførslen af dårligt rensset spildevand til Århus Å og Brabrand Sø øget.

Belastningen af søen er som nævnt blevet større og større op igennem århundredet for at kulminere i 1980'erne, hvor der blev tilført omkring 100 ton fosfor til Brabrand Sø om året.

De store fosfortilførsler medførte, at forholdene i Brabrand Sø i løbet af 1950'erne og 60'erne skiftede fra en sø med klart vand og undervandsplanter til en uklar tilstand uden undervandsvegetation.



Figur 2

Oplandet til Brabrand Sø med angivelse af de største rensningsanlæg.

Vand- og stofbalance

Vand- og stofbalancen for Brabrand Sø er beregnet ud fra en række målinger i såvel søen som i tilløb og afløb. Vandtilførslen til søen er fundet ud fra målinger af vandføringen i Århus Å ved Skibby og i Lyngbygårds Å. Vandføringen er her målt og beregnet ved hjælp af kontinuerte vandføringsstationer. Her er der også taget vandprøver, ligesom der er taget vandprøver i Århus Å nedenfor Brabrand Sø.

Vandføringen i afløbet er beregnet ud fra de to nævnte målte stationer ovenfor Brabrand Sø sammenholdt med vandstandsmålinger i afløbet.

Tilførslerne fra det såkaldt umålte opland til Brabrand Sø er beregnet ved en arealkorrektion af de beregnede vand- og stoftransporter i Århus Å og Lyngbygårds Å.

Den største del af dette umålte opland udgøres af området mellem Århus Å's indløb i søen og de to stationer i henholdsvis Århus Å og Lyngbygårds Å samt den del af oplandet til Døde Å, som ikke består af befæstede arealer.

Endelig sker der en tilførsel af vand og stof fra rensningsanlægget i Viby og diverse regnvandsoverløb rundt om søen. Det skal allerede her nævnes, at afløbet fra Viby rensningsanlæg i løbet af 1999 er afskåret til Århus Å nedstrøms Brabrand Sø.

	opland (km ²)	vand (mio. m ³)	kvælstof (ton N)	fosfor (ton P)
Århus Å	132	22,6	104	3,41
Lyngbygårds Å	119	21,0	136	3,24
Umålt opland	31	10,7	44	1,78
Regnvandsoverløb		1,6	6	1,20
Viby rensningsanlæg		5,2	34	1,57
Atmosfærisk deposition			3	0,03
Grundvand/difference		0,2	6	0,08
Samlet tilførsel	282	61,3	333	11,31
Magasinændring		-0,6	1	-0,10
Samlet fraførsel		61,9	229	11,01
Søbalance (ekskl. magasinering)			31%	3%
Søbalance (inkl. magasinering)			31%	4%

Tabel 3

Vand- og stofbalance for Brabrand Sø i 1997.

Magasinændringen er den forskel i vandvolumen og stofmængder, som var i Brabrand Sø fra årets start til dets slutning.

Vandbalance

Efter sedimentfjernelsen i Brabrand Sø er volumen i søen anslået til 2 mill. m³. I 1997 var den samlede vandtilførsel omkring 61 mill. m³. Dermed kan vandets opholdstid i 1997 beregnes til ca. 12 dage.

Der er en betragtelig forskel i vandføringen fra sommer til vinter. Vandets opholdstid i sommerhalvåret svarede i 1997 således til 38 dage.

Figur 3 viser, at der kan være en væsentlig forskel i vandtilførslen til søen i vintermånederne. 1995 havde eksempelvis en meget våd vinter, hvor vandtilførslen var omkring 20 mio. m³ om måneden, hvorimod vandtilførslen i januar 1997 var meget lille og kun godt og vel 3 mio. m³.

I sommerhalvåret er vandtilførslen mere konstant og varierer generelt mellem 3 og 5 mio. m³ pr. måned.

Stofbalance

Foruden de nævnte beregninger for stoftransporterne i målt og umålt opland er det ved beregning af stofbalancen for Brabrand Sø antaget, at den atmosfæriske deposition på søens overflade udgør henholdsvis 20 kg N og 0,2 kg P pr. ha.

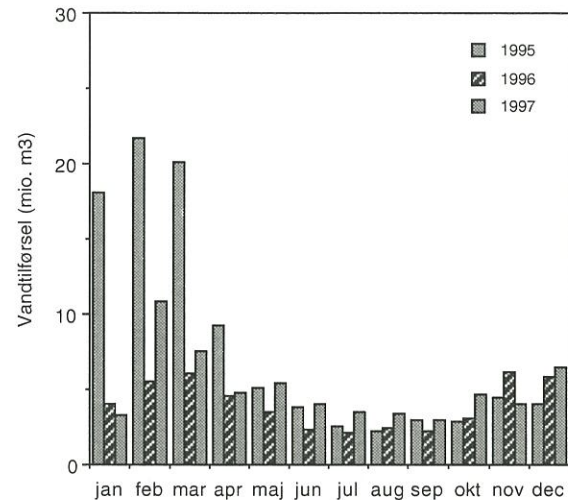
Det er videre antaget, at koncentrationen af kvælstof og fosfor i det tilførte grundvand er 1,5 mg N/l og 30 µg P/l og endelig er den difference, som fremkommer i beregning af vandbalancen på grund af diverse usikkerheder givet kvælstof- og fosforkoncentrationer på henholdsvis 4 mg N/l og 50 µg P/l.

Hvad angår tilledningen fra Viby rensningsanlæg, er denne opgjort ud fra gennemsnittet af de døgnmålinger, der er foretaget som et led i afløbskontrollen (i almindelighed 12 målinger) og regnvandsudløbenes bidrag er beregnede værdier.

Kvælstoftilførslen i 1997 er beregnet til 333 ton, hvilket svarer til 5,4 mg N/l som et vandføringsvægtet gennemsnit (tabel 3).

Der tilføres altså meget store mængder kvælstof til Brabrand Sø hvert år. Koncentrationen i det tilførte vand er dog mindre, end det typisk ses i områder med såvel stor dyrkningsgrad som mange spredt liggende ejendomme (Århus Amt, 1998) og de store kvælstofmængder skyldes derfor primært den relativt store vandføring i tilløbene.

Det kan i øvrigt konstateres, at den gennemsnitlige kvælstofkoncentration i det vand, som løber til Brabrand Sø, er reduceret jævnt fra et niveau på ca. 9 mg N/l i 1980'erne og starten af 1990'erne til altså en gennem-



Figur 3

Den månedlige vandtilførsel til Brabrand Sø fra 1995 til 1997.

snitlig vandføringsvægtet indløbskoncentration på 5,4 mg N/l i 1997. Årsagen er først og fremmest en jævnt reduceret vandtransport i Århus Å, som skyldes mindre nedbør - særligt i 1997 - i forhold til niveauet først i 1980'erne og ikke en ændret dyrkningspraksis i oplandet.

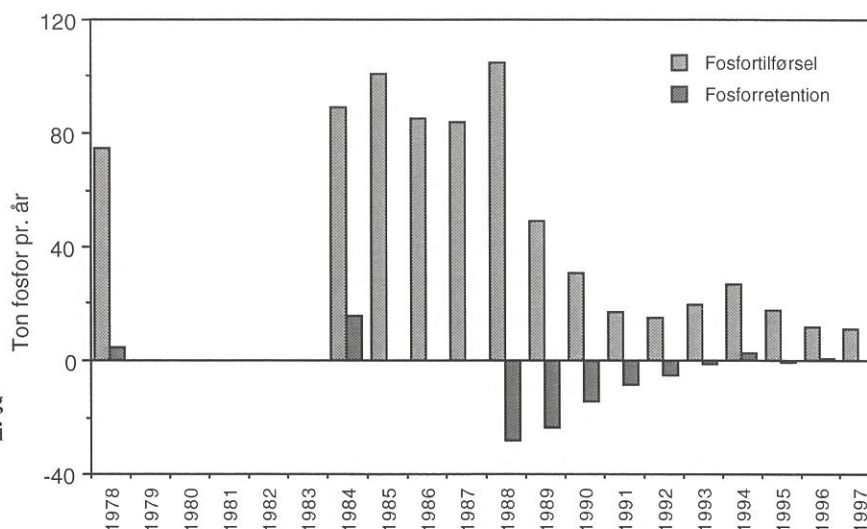
I 1997 blev 232 ton kvælstof ført ud af søen og videre ud i Århus Bugt. Dermed blev der tilbageholdt/fjernet omkring 100 ton kvælstof under vandets passage af Brabrand Sø. Det svarer til omkring 30 % af den tilførte mængde, hvilket er en relativ stor kvælstoffjernelse i betragtning af vandets korte opholdstid i søen.

Den arealrelaterede kvælstoftilbageholdelse var omkring 180 mg N/m²/d i 1997 og dermed også større end gennemsnittet i danske søer i 1997 (Jensen et al., 1998).

Kvælstoftilbageholdelsen var i 1997 noget større end tidligere beregnet. Årsagen er, at vandet havde en længere opholdstid i søen i 1997 sammenlignet med de foregående måleår.

Der er generelt en større eller mindre kvælstoffjernelse hele året rundt i Brabrand Sø (figur 14). Den største kvælstoffjernelse i absolutte mængder sker i vinter- og forårsmånederne, hvor også tilførslerne er størst, hvorimod der i sommermånederne med de små vand- og kvælstoftilførsler kun sker en beskedne kvælstoffjernelse. Den relative kvælstoffjernelse er dog størst i sommer- og efterårsmånederne, hvor temperaturen er højest og opholdstiden længst.

Figur 4
Den årlige fosfortilførsel og fosforretention i Brabrand Sø i måleårene fra 1978 til 1997.



Fosfortilførslen til Brabrand Sø er reduceret betragteligt igennem de seneste 15 år. Indtil 1989 blev der tilført omkring 100 ton fosfor hvert år. Omkring 80 % af denne fosfor stammede fra dårligt rensset spildevand i oplandet. Efter 1989 er der indført fosforfjernelse på alle større rensningsanlæg i oplandet og resultatet har været, at den årlige fosfortilførsel er reduceret til et niveau på 10 - 15 ton fosfor til Brabrand Sø. Heraf udgør fosforbidraget fra kloakerede områder nu omkring 4 ton pr. år.

Også den vandføringsvægtede indløbskoncentration er reduceret siden 1989 fra ca. 1 mg P/l i gennemsnit til ca. 0,2 mg P/l i de seneste år.

Der er altså sket en betragtelig reduktion i tilførslen af fosfor til søen siden 1980'erne. En gennemsnitlig fosforkoncentration på 0,2 mg P/l er dog stadig for høj til at skabe tilstrækkelige forudsætninger for en acceptabel tilstand i søen. Fosfortilførslen skal derfor reduceres yderligere, før det kan forventes, at tilstanden i Brabrand Sø bliver væsentligt forbedret.

I Vandkvalitetsplanen for Århus Amt fremgår det, at indløbskoncentrationen for fosfor til Brabrand Sø maksimalt må være 150 µg P/l som et gennemsnit. Dette vil ved en normal vandtilførsel resultere i en total årlig tilførsel på ca. 13 ton fosfor.

En del af de meget store fosformængder, som tidligere er tilført, blev bundet i søens sediment. Herved blev sedimentets fosforpulje efterhånden meget stor og i takt med at tilstanden i søen blev dårligere i løbet af 1970- og 1980'erne, blev en del af denne fosfor i sedimentet frigivet om sommeren.

Søen kom dermed ind i en ond cirkel, som fastholdt den dårlige tilstand, selvom fosfortilførslerne blev reduceret.

Derfor blev det besluttet, at fjerne store dele af de øvre sedimentlag fra søen. Fra 1988 til 1995 blev der fjernet ca. 500.000 m³ slam fra bunden af søen.

Som en konsekvens af sedimentfjernelsen er frigivelsen af fosfor fra sedimentet blevet reduceret betragteligt og der er nu en nettotilbageholdelse af fosfor - omend lille - i søen.

På figur 4 kan det ses, at der faktisk var en nettotilbageholdelse i 1970'erne og 1980'erne under de meget store tilførsler. Med indførelse af fosforreduktion på rensningsanlæggene skete der en kraftig reduktion i tilførselens fosforkoncentration. Derfor var der en relativt stor koncentrationsgradient mellem det fosforrige sediment og det nu knapt så fosforholdige søvand. Dette resulterede i en kraftig fosforfrigivelse fra sedimentet fra slutningen af 1980'erne.

Samtidigt blev sedimentfjernelsen påbegyndt. Håndteringen af sedimentet bevirkede en yderligere frigivelse af fosfor og alt i alt var der (som figur 5 viser) en større eller mindre fosforfrigivelse hele året rundt i perioden 1989 - 1992.

Nu graves der ikke mere i søen og det meste af det fosforholdige sediment er fjernet. Derfor er fosforfrigivelsen i de senere år - på figur 5 repræsenteret af 1997 - nu væsentligt reduceret og forløber kun i sommermånederne fra maj til september.

Da fosfortilførslen stadig er for stor til, at tilstanden i Brabrand Sø kan ændre sig væsentligt, kan denne fosfortilbageholdelse resultere i, at der igen bliver aflejret for store fosformængder i søbunden. Også derfor er det meget vigtigt, at fosfortilførslerne til Brabrand Sø i de kommende år reduceres.

Det kan i øvrigt forventes, at der vil være en fosfortilbageholdelse på 15 - 20 % i Brabrand Sø i en ligevægtstilstand.

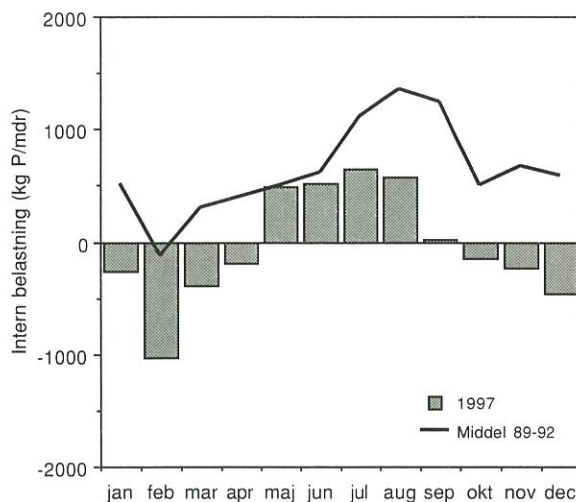
På figur 5 er variationen i sedimentets fosforfrigivelse over året præsenteret. Det er valgt at vise 1997-situationen sammenlignet med middelværdien for årene 1989 - 1992. Hvor der tidligere blev frigivet fosfor fra sedimentet stort set hele året rundt, er det nu kun i sommermånederne, at der er en fosforfrigivelse fra sedimentet.

Oppumpningen er afsluttet i 1995, efter at der er fjernet ca. 500.000 m³ sediment. Arbejdet blev dermed forsinket med ca. 1 år i forhold til de oprindelige planer. Målet for sedimentoprensningen har været at sikre så lille en fosforfrigivelse fra sedimentet som muligt. Ved bortpumpningen af sedimentet er det derfor forsøgt at nå ned til sedimentlag, hvor fosforindholdet som hovedregel ikke overstiger 1 mg P/g tv. Tidligere undersøgelser viste nemlig, at ved så lavt et fosforindhold vil frigivelsen fra bunden til søvandet være så lille, at den interne belastning ikke hindrer opfyldelsen af målsætningen for søen.

Ikke desto mindre er der altså fortsat en intern belastning i Brabrand Sø i sommerhalvåret og søen er endnu ikke i ligevægt med fosfortilførslerne.

Der er sandsynligvis flere årsager hertil. Når det øverste sediment bortgraves, vil man blotlægge sediment, som hidtil har været iltfrit. Dermed vil der være en pulje af fosfor, som kan frigives fra denne nye sedimentoverflade, selvom totalfosforindholdet i sedimentet ikke er særlig stor.

Selvom opgravningsmaskinen (MudCat'en) har gravet relativt præcist er det rimeligt at antage, at sedimentoverfladen er blevet større i hvert fald i årene umiddelbart efter bortgravningen. En større overflade vil alt andet lige medføre en større fosforfrigivelse.



Figur 5
Den månedlige fosforfrigivelse/-tilbageholdelse i Brabrand Sø i 1997 sammenlignet med den månedlige middelværdi i perioden 1989 - 1992.

Kildeopsplitning

Det er bidraget fra de dyrkede jorde, som udgør langt den største del af kvælstoftilførslen til Brabrand Sø.

Hvad angår fosfortilførslen, er der flere betydende kilder. Det fremgår af figur 6, at bidraget fra rensningsanlæggene i 1997 med 35 % udgør den væsentligste del af den samlede fosfortilførsel. Også regnvandsoverløbene, den spredte bebyggelse og de dyrkede jorde bidrager med en betydende fosformængde. I 1997 er det beregnet, at der både kom ca. 2000 kg fosfor til Brabrand Sø fra regnvandsoverløbene og fra de dyrkede jorde og 1340 kg fra den spredte bebyggelse, hvilket er henholdsvis 18, 18 og 12 % af den samlede tilførsel.

Bidraget fra den spredte bebyggelse er fundet ud fra Miljøstyrelsens normtal som er : 2,5 PE pr. ejendom, 1 kg fosfor og 4,4 kg kvælstof pr. PE og en 50 % reduktion i næringsstofmængden inden spildevandet når vandløb eller sø.

Som nævnt bygger bidraget fra rensningsanlæggene på de løbende kontrolmålinger, som foretages og mængden af kvælstof og fosfor fra regnvandsoverløb er beregnede værdier.

Den atmosfæriske deposition er fundet ud fra den antagelse, at der falder 20 kg kvælstof og 0,2 kg fosfor pr. ha søoverflade pr. år.

Ved beregning af naturbidraget er det antaget, at der vil være en fosforkoncentration på 30 µg P/l og et kvælstofindhold på 1 mg N/l i det tilførte vand, hvis oplandet lå hen i en naturtilstand.

Kildeopsplitning	kvælstof (ton N)	fosfor (ton P)
Rensningsanlæg	53	3,99
Regnvandsoverløb	9	2,08
Spredt bebyggelse	4	1,34
Naturbidrag	61	1,80
Atm. deposition	3	0,03
Dambrug	1	0,05
Dyrkningsbidrag	202	2,02
Samlet bidrag	333	11,31

Tabel 4

Kildeopsplitning for Brabrand Sø i 1997.

Endeligt er bidraget fra de dyrkede jorde fundet som differencen mellem den samlede tilledning og summen af de øvrige kilder. Da dette bidrag således kun indirekte er bestemt, er der forbundet nogen usikkerhed hermed.

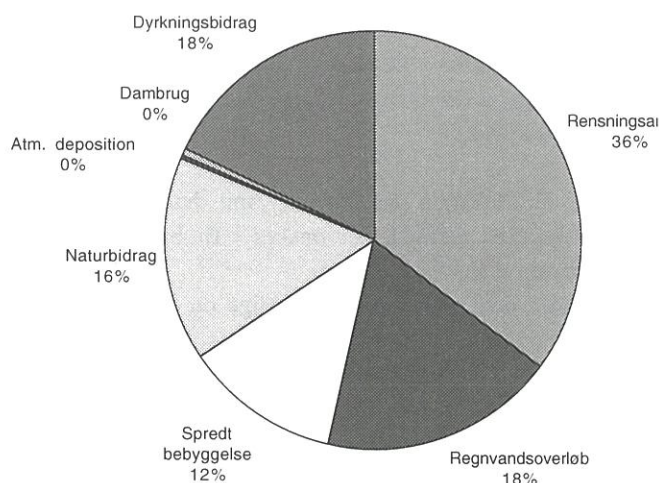
Uanset usikkerheder vurderes det dog, at det angivne niveau er reelt.

Fosfortilførslen fra alle rensningsanlæggene i oplandet var ca. 4 ton i 1997. I tabel 5 er de enkelte anlægs fosforudledning angivet. Tillige er vist det enkelte anlægs andel af fosforkvoten. Der er en række anlæg i de større bysamfund i oplandet, der udleder betydelige fosformængder hvert år og fosforkvoten er ikke opfyldt for alle anlæg. Men også fosforudledningen fra "små landsbyer" er væsentlig højere end foreskrevet.

Når alle rensningsanlæg opfylder fosforkvoten vil den samlede årlige fosfortilførsel til Brabrand Sø fra rensningsanlæggene blive reduceret med 565 kg i forhold til 1997-tilførslen.

Viby rensningsanlæg er det klart største i oplandet med den største udledning. I 1999 er udledningen fra dette rensningsanlæg afskåret fra Brabrand sø's opland. Spildevandet vil i fremtiden blive ledt ud i Århus Å nedenfor Brabrand sø.

Som det fremgår af tabellen, vil dette betyde et dramatisk fald i spildevandsudledningen til Brabrand Sø - i størrelsesordenen 40 - 50 % af 1997 niveauet. Der vil dog i regnvejrssituationer fortsat være overløb fra rensningsanlægget til Brabrand Sø, men under alle omstændigheder vil udledningen blive markant reduceret.



Figur 6

Den relative fordeling af fosfortilførslen til Brabrand Sø i 1997.

	Udledt fosfor kg fosfor pr år	Fosforkvoten kg fosfor pr år
Galten	380	282
Skovby	135	181
Skivholme	51	
Sorring	22	32
Lading	18	18
Hørning	153	564
Låsby	183	91
Viby	1548	3022
Harlev	168	131
Solbjerg	102	131
Jeksen	91	4
Borum	7	12
Ormslev	4	12
Årslev Kro	20	20
Små landsbyer	700	500
Udlign.bassin - Viby	406	
I alt	3988	5000

Tabel 5

Fosforudledningen fra de enkelte rensningsanlæg i oplandet til Brabrand Sø i 1997 samt fosforkvoten for det enkelte anlæg.

Vandkvalitetsplan

Brabrand Sø har en lempet (C) målsætning. Dette betyder dog ikke, at der ikke er stillet krav til fosfortilførsel og søens tilstand.

I Vandkvalitetsplanen for Århus Amt har amtsrådet angivet hvilken tilstand, der ønskes i Brabrand Sø og hvordan den skal søges opnået.

Her hedder det, at den gennemsnitlige og vandføringsvægtede indløbskoncentration for fosfor maksimalt må være 150 µg P/l. Det vil sikre en gennemsnitlig fosforkoncentration i Brabrand Sø på 120 - 130 µg P/l, som videre vil give mulighed for en sigtddybe på ca 0,8 meter som et sommergennemsnit.

Reduktionen i fosfortilførslen skal søges gennemført overfor alle kilder.

- Der skal ske en driftsoptimering på alle rensningsanlæg i oplandet.
- I forbindelse med de regnvandsbetingede udledninger skal der etableres forsinkelsesbassiner og disse skal indrettes til størst mulig fosfortilbageholdelse.
- Der skal i størst muligt omfang etableres ned-sivning på de spredt liggende ejendomme
- og endelig vil en etablering af Årslev Eng sø opstrøms Brabrand Sø tilbageholde en vis mængde fosfor fra vandet i Århus Å og Lyngbygårds Å.

Det skal i denne sammenhæng nævnes, at den samlede fosforkvote for spildevand til Brabrand Sø er på 5000 kg om året fordelt på de forskellige rensningsanlæg efter belastningen på de enkelte anlæg. Den samlede fosforudledning fra rensningsanlæggene i 1997 var ca. 4000 kg og dermed altså mindre end kvoten, men som nævnt overholder en række af rensningsanlæggene ikke deres del af fosforkvoten.

Når samtlige rensningsanlæg i oplandet overholder fosforkvoten og med afskæringen af spildevandet fra Viby rensningsanlæg kan det forventes, at den samlede fosfortilførsel fra rensningsanlæggene fremover vil blive omkring 2 ton om året.

Indsatsen for en mindre fosfortilførsel til Brabrand Sø vil ske løbende. I takt med den reducerede fosfortilførsel vil forudsætningerne for en forbedring af tilstanden i søen blive bedre. Der må derfor forventes en langsom udvikling i søen imod en bedre tilstand.

Etablering af undervandsvegetation i søen vil sandsyn-

ligvis kræve, at fosforkoncentrationen i sommerhalvåret som et sommergennemsnit maksimalt er ca. 70 µg P/l. Herved vil sigtddyben blive større end 1 meter som et gennemsnit i sommerperioden.

Fosfortilførslen skal altså reduceres yderligere i forhold til anbefalingerne i Vandkvalitetsplanen, hvis forudsætningerne for, at der kan være undervandsvegetation i Brabrand Sø, skal være til stede.

Det er realistisk at forvente at målsætningen i Vandkvalitetsplanen for Brabrand Sø kan opfyldes indenfor en kortere årrække. Det kan dog næppe forventes, at en opfyldelse af målsætningen er tilstrækkelig til, at undervandsvegetation vil indvandre i nævneværdig grad.

Når alle belastningsreducerende tiltag i oplandet er gennemført, vil den samlede årlige fosfortilførsel til Brabrand Sø på længere sigt være i størrelsesordenen 8 - 9 ton. Herved vil den gennemsnitlige fosforkoncentration i indløbsvandet blive 100 - 110 µg P/l, hvorved forudsætningerne for at opnå en fosforkoncentration i søvandet på ca. 70 µg P/l som et sommergennemsnit stort set vil være til stede.

Sedimentfjernelsen i Brabrand Sø

Det blev i midten af 1980'erne besluttet at forsøge at ændre tilstanden i Brabrand Sø. Dette skulle i første omgang ske ved at reducere næringsstofbelastningen til søen gennem en etablering af fosforfjernelse på alle større rensningsanlæg i oplandet.

Da søen havde fået tilført store næringsstofmængder i adskillige år, lå der imidlertid en meget stor fosforpulje i sedimentet. En reduceret fosfortilførsel ville derfor ikke medføre nogen ændringer i søens tilstand de første mange år, fordi en stor del af fosforpuljen i sedimentet blev frigivet til søvandet hver sommer.

Det blev derfor i 1987 endvidere vedtaget at fjerne den del af sedimentet, som indeholdt de største fosformængder, hvilket ville sige sediment med et større fosforindhold end 1 mg P/g tv. I følge planen skulle der i alt fjernes ca. 400.000 m³ sediment fra søen.

Sedimentfjernelsen skulle samtidigt løse det problem, at visse dele af Brabrand Sø var ved at sande til.

En sammenligning af dybdekort fra 1905 og 1979 viste, at bunden var hævet med mere end 1,5 meter i den vestlige del af søen, med omkring 1 meter ud for Døde Å og med ca. 0,5 meter i den østlige del.

Før opgravningen blev påbegyndt, blev der foretaget en række undersøgelser for at belyse effekten af oprensningen. Undersøgelserne omfattede blandt andet :

- bundforholdene i søen, herunder sedimentkarakteristik og fosforudveksling
- tungmetaller i sedimentet
- sedimentdeponering, grundvand, depotarealerne for det oppumpede sediment mm.
- påvirkningen på fuglebestanden i og omkring søen
- fiskebestanden i søen
- sedimenttilførsel med vandløb

(se i øvrigt referenceliste)

Indgrebets karakter og omfang

Resultaterne af sedimentprøver 35 forskellige steder i søen påviste en stor forskel i fosforindholdet. I store dele af den østlige del, hvor Døde Å løber ud i søen, var koncentrationen i sedimentoverfladen således omkring 7 mg P/g tv og i dele af dette område var koncentrationen stadigt højere end 4 mg P/g tv i 50 - 70 cm's dybde. I den vestlige del, hvor Århus Å løber ind i søen, var de tilsvarende koncentrationer 3 - 6 mg P/g tv i overfladen og under 3 mg P/g tv i 50 cm's dybde. De laveste koncentrationer fandtes i søens midt-østlige del, hvor overfladen indeholdt under 4 mg P/g tv og koncentrationen allerede i 10 cm's dybde var under 1 mgP/g tv. Gennemsnitligt for hele søen var overfladesedimentets fosforindhold godt 4 mg P/g tv og der var skønsmæssigt ca. 300 ton fosfor i de øverste 50 cm af sedimentet.

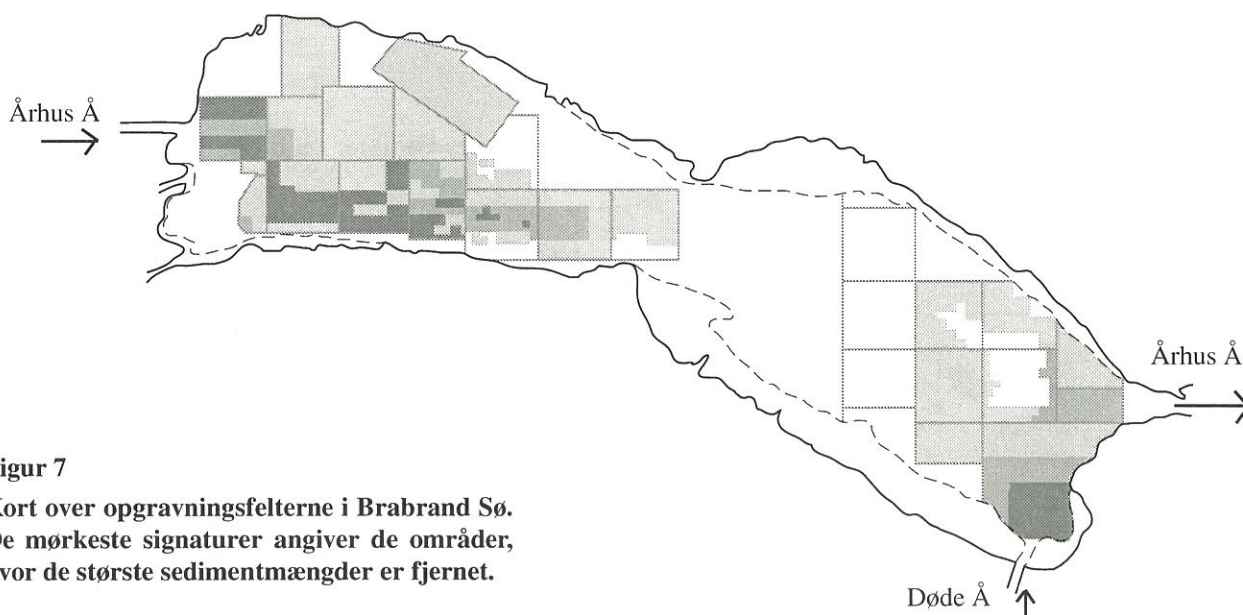
På baggrund af ovenstående værdier blev konklusionen, at fosforindholdet i den midt-østlige del af søen var så lavt og sedimentationen så ringe, at det ikke var nødvendigt at fjerne sediment i dette område overhovedet.

Resten af søen blev inddelt i kvadrater, hvor man ved at udtage sedimentprøver for hver 25 m bestemte den nøjagtige tykkelse af det sedimentlag, der skulle fjernes. Der blev derefter fremstillet et "oppumpningskort" som en arbejdsbeskrivelse, der beskrev de præcise dybder, hvortil sedimentet skulle fjernes i hvert kvadrat (figur 7). Disse dybder varierede fra 0 til 90 cm under den daværende sedimentoverflade.

Denne præcise kortlægning har resulteret i, at der i stedet for de oprindeligt vurderede 420.000 m³ er oppumpet i alt 494.000 m³ sediment.

Oppumpning af sediment

Oppumpning af sediment blev påbegyndt i eftersommeren 1988 ved anvendelse af en amerikansk produceret såkaldt MudCat (figur 8). Denne opmudringsmaskine blev valgt, fordi en undersøgelse af markedets muligheder viste, at Mudcat'en var den eneste type, der kunne leve op til de størrelses- og præcisionskrav, der skulle opfyldes ved arbejde i et naturområde af Brabrand Sø's karakter. Dels havde maskinen en så lav dybgang, at den kunne arbejde sig ind på helt lavt vand og dels kunne dens arbejdsdybde bestemmes og styres meget præcist,



Figur 7

Kort over opgravningsfelterne i Brabrand Sø. De mørkeste signaturer angiver de områder, hvor de største sedimentmængder er fjernet.

således at føreren overalt kunne fjerne præcis den ønskede mængde og kun den.

Maskinens arbejdsmåde er, at den i et jævnt tempo trækker sig hen over bunden, mens et tværstillet "skærebør" forrest på maskinen bliver presset frem gennem bunden. En bred, roterende snegl i skæreboret fører slammet ind til et sugemundstykke, hvorfra det pumpes i land gennem en rørledning.

Oppumpningen skete i de afgrænsede kvadrater, som var fastlagt ved sedimentundersøgelserne. MudCaten blev trukket frem langs en stålwire, som var udspændt i det pågældende kvadrat. Stålwiren flyttedes parallelt i kvadratet svarende til den bredde, som MudCaten kunne pumpe op ad gangen.

Det viste sig hurtigt, at Mudcat'en var ideel til arbejdet. Maskinen kunne arbejde på lave dybder og styres meget nøjagtig. Der optrådte dog også visse problemer omkring opgravningen. Da Brabrand Sø igennem tiderne har været udnyttet intensivt til fiskeri mm., var der overalt på søens bund efterladte fiskeredskaber som bundgarnspæle, netrester og lign., ligesom der specielt ved Århus Å's indløb var en del affald så som bildæk, plastgenstande mv. Disse fremmedlegemer forårsagede hyppige stop i oppumpningen. Endvidere var og er der i søen mange tætte bestande af søkogleaks og åkander. Disse plantesamfunds tykke og sammenfiltrede rodnet var også temmelig generende for oppumpningen.

I de første tre år blev der kun pumpet i perioden juli til december for at undgå at forstyrre rugende vandfugle. Det blev imidlertid konstateret, at oppumpningen ikke

forstyrrede fuglelivet væsentligt. Fra 1991 til oppumpningens afslutning i 1995 er der derfor blevet pumpet hele året rundt og i toholdsskift, således at alle dagens lyse timer er blevet udnyttet.

For at forstyrre fuglene så lidt som muligt i yngleperioden, blev oppumpningen om foråret dog begrænset til bestemte, udvalgte områder i søen.

Afvandingsbassiner

Der blev etableret afvandingsbassiner både øst og vest for søen, hvori slammet blev pumpet op. Omkring 75 % af den samlede sedimentmængde skulle graves op i søens vestlige del. Til afvanding af dette sediment blev der etableret en række afvandingsbassiner vest for Brabrand Sø. Jordbunden består her af et tykt lag gytje, som kunne tjene som en naturlig barriere mellem det oppumpede sediment og det underliggende grundvandslag. Til de resterende 25 % af sedimentet, som skulle pumpes op fra Brabrand Sø's østlige del, blev der etableret afvandingsbassiner øst for søen. Dette sediment blev efter afvanding brugt som afdækningsmateriale på arealer mellem Brabrand Sø og Århus By, der tidligere er blevet anvendt som losseplads.

Slammet blev afvandet i bassinerne til det havde en tørstofsprocent på mere end 50 (Slammet bestod af 1 del sediment og 3 dele vand, når det blev pumpet op). Når dette var sket, kunne det lade sig gøre at transportere det afvandede sediment på lastbiler.

Oprindeligt var det nemlig tanken, at slammet skulle anvendes som jordforbedring på landbrugsarealer. Men det viste sig hurtigt, at de praktiske og økonomiske pro-

blemer omkring transport og udbringning af slammet var for store.

Da slammet oprindeligt var planlagt at skulle tjene som jordforbedring på landbrugsjord var slamdepoterne i søens vestende opført som midlertidige depoter. I forbindelse med naturgenopretningsprojektet Årslev Eng sø umiddelbart vest for Brabrand Sø (se senere) er det foreslået at gøre disse depoter permanente og det er planen, at depoterne fremover skal fremstå som mindre forhøjninger i landskabet her mellem Brabrand Sø og den kommende Årslev Eng sø.

Det vand, som blev drænet fra det oppumpede sediment, indeholdt ikke større koncentrationer af hverken fosfor eller andre forurenende stoffer, end der i forvejen fandtes i sø og å. Derfor blev dette vand ledt ubehandlet tilbage til Århus Å enten op- eller nedstrøms Brabrand Sø.

Fosfortilførslen skulle også reduceres

En afgørende forudsætning for projektets succes var som nævnt, at fosfortilførslen blev væsentligt reduceret. Spildevandsrensningen i oplandet blev derfor udvidet til en 95 % fosforfjernelse på alle større rensningsanlæg (større end 500 PE) og en 90 % fosforfjernelse på de mindre. Den samlede fosforudledning fra rensningsanlæg i søens opland måtte efterfølgende maksimalt være 5 ton om året.

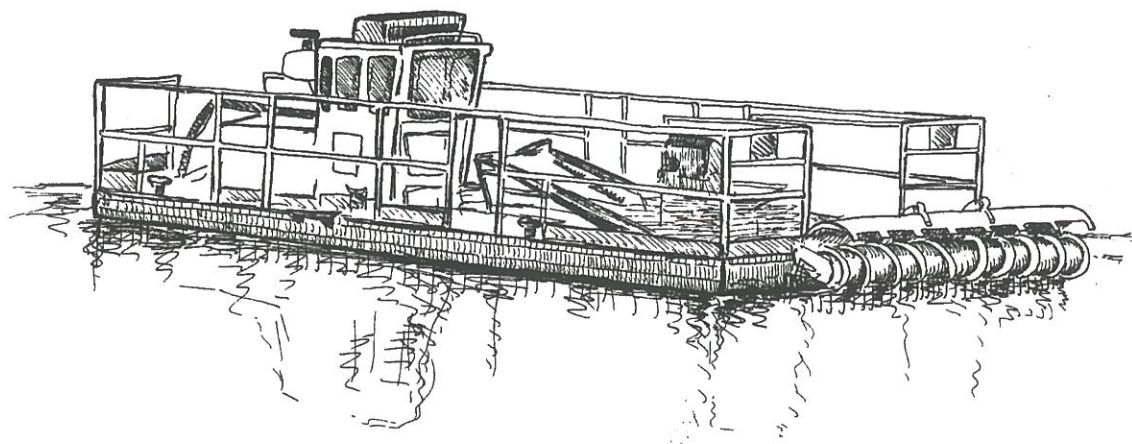
For at reducere stoftilførslen yderligere blev det overvejet at genslynge Århus Å opstrøms Brabrand Sø for derved gennem at opnå en stoftilbageholdelse på de oversvøm-

mede enge. Det viste sig dog hurtigt, at projektet ikke kunne rumme et sådant tiltag også. Som kompensation blev der etableret et sandfang i Århus Å umiddelbart opstrøms Brabrand Sø. Formålet med dette sandfang er at mindske den sand- og stoftilførsel, der er fra Århus Å til Brabrand Sø. På grund af sandfangets beskedne størrelse udgør tilbageholdelsen dog kun nogle få procent af den samlede stoftransport i åen.

Effekten af oprensningen

Formålet med oppumpningen af sedimentet var at fjerne hovedparten af den overskudsfosfor, som lå på bunden af søen, således at den interne belastning om muligt fuldstændigt ophørte. Ved projektet er der skønsmæssigt fjernet omkring 300 ton fosfor fra sedimentet i søen, samtidigt med at de samlede fosfortilførsler er reduceret til et niveau på ca. 20 % af 1989-tilførslerne. Resultatet har været, at der nu, efter at oppumpningen er ophørt, ikke længere sker en nettoafkastning fra søen. Der kommer altså mindre fosfor ud af Brabrand Sø, end der kommer ind på årsbasis. Om sommeren sker der dog stadig en vis fosforfrigivelse fra sedimentet og derfor er Brabrand Sø endnu ikke i ligevægt med fosfortilførslerne.

Selve oprensningen varede 8 år, hvilket var nogle år mere end beregnet. Årsagen til, at projektet tog længere tid end beregnet, var dels, at der er fjernet mere sediment end beregnet, men også at der opstod en række praktiske problemer undervejs. Facit er dog, at den projekterede oprensning blev gennemført.



Figur 8

Mudcat'en, som blev anvendt til oppumpning af sedimentet i Brabrand Sø.

Før restaureringen blev påbegyndt, blev der foretaget beregninger over den forventede fosforkoncentration i Brabrand Sø som følge af såvel opgravning som reduktionen af fosfortilførslerne.

Det var nok forventet, at effekten af de forskellige tiltag ville slå forholdsvis hurtig igennem på såvel fosforkoncentration som sigtdybde. Det har imidlertid vist sig, at der har været en vis forsinkelse i reduktionen af fosforkoncentrationen i søen. Der sker således fortsat et fald i fosforfrigivelse og fosforniveau selvom oppumpningen er afsluttet for 5 år siden. Forklaringen er først og fremmest, at opgravningen har blotlagt nogle sedimentlag, som hidtil har været dækket. Selvom fosforkoncentrationen i det nye overfladesediment ikke er særlig høj, sker der stadig en vis fosforfrigivelse herfra.

Det må forventes, at dette sediment i de nærmeste år vil "sætte sig" og fosfordynamikken tilpasse sig de naturlige forhold, som normalt er i en lavvandet sø med de pågældende næringsstofniveauer i sediment og vand.

Dette vil betyde at Brabrand Sø på længere sigt vil have en nettofosfortilbageholdelse på 20 - 30 % af den tilførte mængde.

Økonomi

Det har kostet omkring 250 mill. kr at udbygge rensningsanlæggene i oplandet.

Udgifterne til selve restaureringen af søen har beløbet sig til i alt 27 millioner kr. Heraf er de ca. 2,5 mio. kr. anvendt til at købe Mudcat'en og andet nødvendigt maskinel til oppumpningen, ca. 4,5 mio. kr. til tekniske/fysiske anlæg, ca. 15,5 mio. kr. til selve oppumpningen, ca. 2,5 mio. kr. til sedimentdeponering, medens de sidste 2 mio. kr. er anvendt til projektering, information, fugleundersøgelse mv.

Sediment og stofomsætning

Sedimentkarakteristik

Før restaureringen af Brabrand Sø startede, blev der udført en sedimentkarakteristik og en beskrivelse af fosforudvekslingen, dels under de daværende forhold og dels ved opgravning af forskellige sedimentmængder.

Sedimentkarakteristikken påviste et højt indhold af fosfor særligt ud for indløbet af Århus Å og Døde Å (op til 7 mg P/g tv). Det var også i disse to områder, at det forhøjede fosforindhold nåede dybest ned i sedimentet.

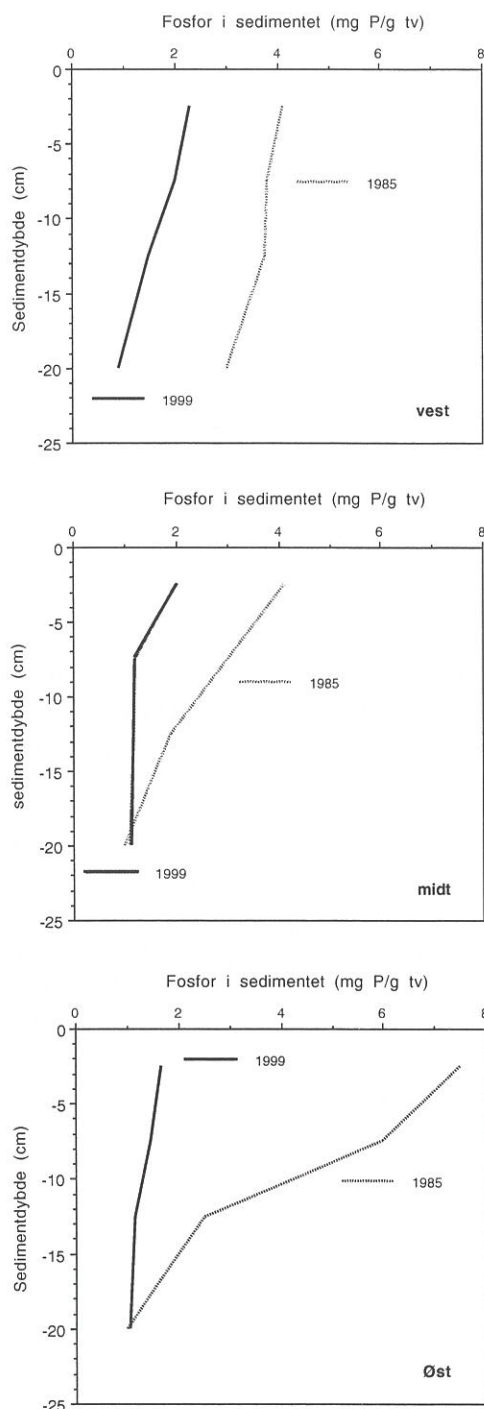
Sedimentkarakteristikken påviste endvidere en forholdsvis høj tørstofprocent også i overfladesedimentet (omkring 20 %) og et jernindhold på 20 - 30 mg Fe/g tv over det meste af søen.

Som tidligere gennemgået blev det besluttet at fjerne den del af sedimentet primært i de to ender af søen, hvor fosforindholdet var større end 1 mg P/g tv og mere eller mindre lade et område midt i søen ligge, hvor fosforindholdet i sedimentet ikke var væsentligt forhøjet. I alt blev det planlagt at fjerne omkring 400.000 m³.

Figur 8 viser fosforkoncentrationen i sedimentet i Brabrand Sø fra 0 til 20 cm's dybde på tre stationer i den vestlige, den midterste og den østlige del af søen. Det fremgår, at fosforkoncentrationen særligt i de øverste 15 cm er reduceret væsentligt. I dag er fosforindholdet således omkring 1 mg fosfor pr. mg tørvægt fra 10 - 15 cm's dybde og kun i de øverste 5 cm er der en fosforkoncentration på ca. 2 mg fosfor pr. mg tørvægt. Det gælder for alle tre stationer, at der er pumpet en større eller mindre del af overfladesedimentet bort under restaureringen.

I bilag er præsenteret samtlige data fra sedimentundersøgelsen i 1999. Her skal nævnes, at sedimentets tørstofindhold er omkring 15 % i overfladesedimentet stigende til over 20 % i 10 og 15 cm dybde. Sammenlignet med andre danske søer er tørstofindholdet forholdsvis højt. En følge heraf er sandsynligvis, at resuspensionen alt andet lige ikke er helt så kraftig som i tilsvarende lavvandede og næringsrige danske søer.

Jernindholdet er omkring 30 g/kg TS. Jern-fosforforholdet, som traditionelt antages at skulle være 15 eller mere, før der er en effektiv binding af fosforen i sedimentet (Jensen H. og Andersen F., 1990), er altså 10 - 15 i overfladesedimentet og 20 - 30 i 10 til 15 cm's dybde. Det må dermed forventes, at der er en effektiv fos-



Figur 8
Fosforindholdet i sedimentet i Brabrand Sø i 1985 og i 1999 på tre stationer i søens vestlige, midterste og østlige del

forbinding i sedimentet i Brabrand Sø under de nuværende forhold.

Det primære formål med oppumpningen af sedimentet i Brabrand Sø var at fjerne størstedelen af den overskuds-fosfor, som lå i de øvre sedimentlag.

Sedimentundersøgelserne i 1999 viser, at der ikke længere er et forhøjet fosforniveau i sedimentet. Det nuværende fosforniveau i sedimentet vil ikke give anledning til større fosforfrigivelser og tilstanden i Brabrand Sø vil dermed i årene fremover primært blive reguleret af det næringsstofniveau, som er i tilløbsvan-det og i mindre grad af den fosforpulje, som findes i sedimentet.

Sedimentbalance

Den reducerede udledning af spildevand i søens opland har naturligvis resulteret i, at den gennemsnitlige indløbskoncentration af fosfor er blevet markant mindre i de sidste 10 år. Indløbskoncentrationen er reduceret fra et niveau omkring eller over 1 mg P/l i slutningen af 1980'erne til knapt 0,2 mg P/l i de sidste 2 - 3 år.

Den markante reduktion i fosfortilførslerne afspejler sig - som tidligere gennemgået - i en reduceret fosforkoncentration i søen. På figur 9 er udviklingen i fosfortilførsel, fosforfrigivelse (-retention) og søkoncentration præsenteret.

Det fremgår, at der var en væsentlig fosforfrigivelse fra sedimentet i de år, der umiddelbart fulgte efter indførelsen af fosforfjernelse på de større rensningsanlæg i søens opland. Årsagen var blandt andet, at fosforgradienten mellem søvand og sediment blev forøget med en transport af fosfor fra sediment til vandfase til følge.

Allerede efter 5 - 6 år aftog fosforfrigivelsen imidlertid og der har været en nettofosfortilbageholdelse - omend

lille - i Brabrand Sø siden 1994.

Fosforkoncentrationen i søvandet er altså reduceret i takt med de reducerede tilførsler og den aftagende fosforfrigivelse fra sedimentet.

Den hurtige reduktion i søvandets indhold af fosfor skyldes i vidt omfang opgravningen af det fosforholdige sediment fra søen. Herved har søen hurtigt opnået en tilstand med nettofosfortilbageholdelse, hvilket er helt afgørende for, om tilstanden i søen i øvrigt bevæger sig i den ønskede retning.

Fosforudveksling

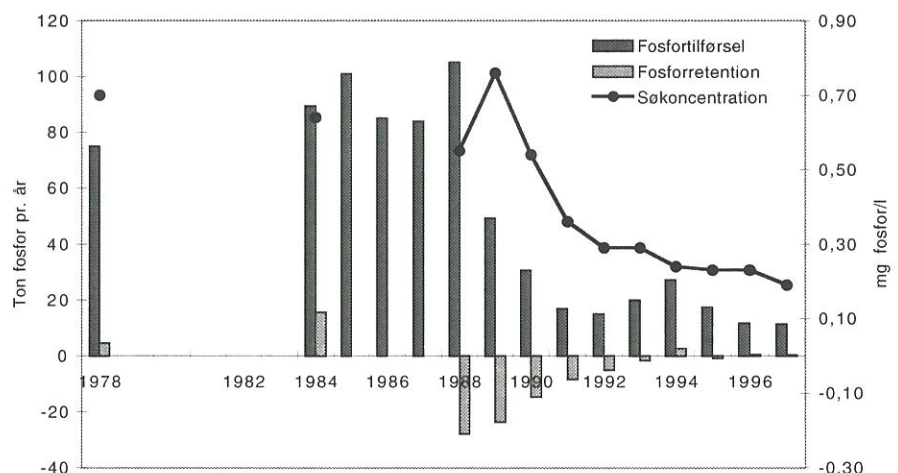
Før restaureringen blev der foretaget en række søjlefor-søg til belysning af fosforfrigivelsen i søen under de daværende forhold og sammenlignet med blandt andet den situation, hvor 50 cm af det eksisterende sediment var fjernet og der efterfølgende var tilført en tyndt lag gammelt sediment som et lag foroven, der skulle simulere et friskt pålejret organisk sediment. Altså vilkår som var tilnærmet forholdene i søen efter sedimentfjernelsen.

For en nærmere beskrivelse af forsøgsopstilling mm. se Århus Amt & Århus Kommune (1987).

Figur 10 præsenterer resultatet af dette forsøg. Der var en stor fosforfrigivelse fra det oprindelige sediment på helt op omkring 200 mg P/m²/d i forsøgsperioden (25 dage) fra det sediment, som i gennemsnit indeholdt ca. 4 mg fosfor pr. g tørvægt. Tilsvarende var fosforfrigivelsen fra det blotlagte sediment 10 - 20 mg P/m²/d ved fosforkoncentrationer omkring 1 mg fosfor pr. g tørvægt, som er gældende for det nuværende sediment.

Efter indførelsen af fosforfjernelse på de større rens-

Figur 9
Den årlige fosfortilførsel til Brabrand Sø samt fosforretentionen(-frigivelse) og fosforkoncentrationen i søen i måleårene fra 1978 til 1997.



ningsanlæg, men inden der var fjernet større sedimentmængder - altså i 1989 - 1990 - var der en gennemsnitlig fosforfrigivelse fra sedimentet på ca. 50 mg P/m²/d beregnet på baggrund af stofbalancen for søen. I 1997 kan den tilsvarende udveksling mellem sediment og vand beregnes til nu en nettotilbageholdelse på i gennemsnit 0,5 mg P/m²/d.

Som det kan bemærkes, er der en betragtelig forskel i niveauet mellem søjleforsøgene og frigivelsesraterne beregnet ud fra stofbalancerne. Det skal da også understreges, at søjleforsøgene ikke umiddelbart kan sammenlignes med fosforfrigivelsesraterne beregnet ud fra stofbalancerne. Budskabet her er, at søjleforsøgene viser, at der kan forventes en væsentligt mindre fosforfrigivelse fra sedimentet efter opgravningen såvel arealrelateret som i absolutte størrelser, hvilket altså fosforudvekslingen beregnet udfra stofbalancerne understøtter.

Til yderligere illustration af sedimentfjernelsens vigtighed kan udviklingen i Brabrand Sø sammenlignes med udviklingen i den tilsvarende stærkt belastede lavvandede Søbygård Sø ved Hammel.

Søbygård Sø har igennem mange år været stærkt belastet af spildevand fra Hammel blandt andet fra slagteriet i byen. Igennem tiderne er der også her ophobet en stor fosforpulje i sedimentet i søen og søen er i dag overordentlig næringsrig med store algemængder stort set hele året rundt og tilsvarende ringe sigtgybde.

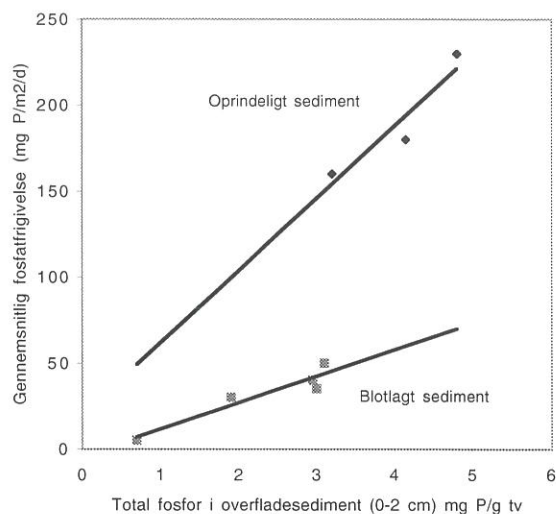
Fosfortilførslerne er også her reduceret kraftigt, blandt andet er slagteriet lukket, men her ligger det fosforrige sedimentet urørt hen.

Der er lavet talrige undersøgelser af sedimentdynamikken i søen, som viser, at der fortsat sker en betragtelig fosforfrigivelse i søen (Jeppesen E. et al., 1998). Fosforkoncentrationen i Søbygård Sø er da også stadig høj og er kun reduceret svagt i forhold til den reduktion af fosfortilførslerne, som er sket.

Figur 11 præsenterer sammenhængen mellem fosforkoncentrationen i indløbsvandet og søkoncentrationen i Brabrand Sø og i Søbygård Sø.

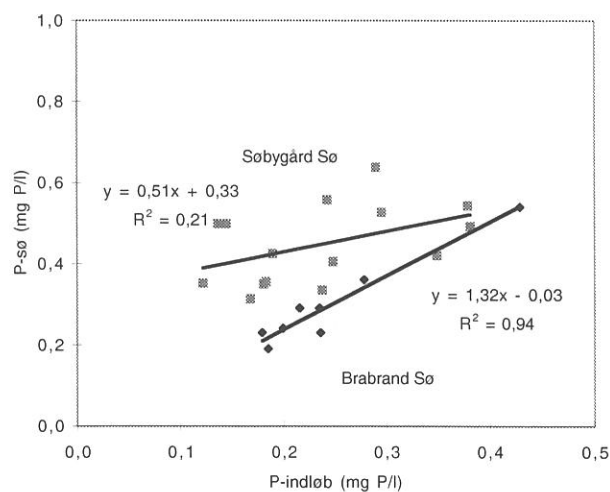
Det er kun i Brabrand Sø, at der er sket en signifikant reduktion i søkoncentrationen som følge af en reduceret fosfortilførsel. I Søbygård Sø er der kun en beskedent tendens til reduktion i søvandets fosforkoncentration, fordi der fortsat sker en betydelig fosforfrigivelse fra sedimentet.

Opgravningen af det fosforholdige sediment i Brabrand Sø har således været en afgørende forudsætning for, at de store investeringer i forbedret rensning på oplandets



Figur 10

Sammenhængen mellem overfladesedimentets fosforindhold og sedimentets fosfatfrigivelsesrate målt ved udvekslingsforsøg. Dels fra det oprindelige sediment og dels fra blotlagt sediment fra ca. 50 cm's dybde pålejret et tyndt lag friskt organisk sediment. (Figur hentet fra Århus Amt, 1986).



Figur 11

Forholdet mellem fosforkoncentrationen i indløbsvandet og i søen (sommergennemsnit) i henholdsvis Brabrand Sø og Søbygård Sø.

rensingsanlæg resulterer i en forbedret vandkvalitet i Brabrand sø indenfor en overskuelig tidshorisont.

Som det er nævnt, er der i dag en nettofosfortilbageholdelse i søen. Søen er endnu ikke i ligevægt med fosfortilførslerne og der er fortsat en mindre fosforpulje i sedimentet, som frigives i sensommeren hvert år. Det skønnes imidlertid, at også denne resterende fosforpulje er

aftagende og om nogle få år ikke længere vil have nogen effekt på søens fosforkoncentration. Dette forudsætter dog, at fosforindholdet i indløbsvandet reduceres. En forhøjet fosforkoncentration i indløbsvandet vil udover at fastholde den nuværende utilfredsstillende tilstand i Brabrand Sø nemlig også medføre, at fosforindholdet i sedimentet igen vil stige og der atter vil komme en pulje af overskudsfosfor i sedimentet.

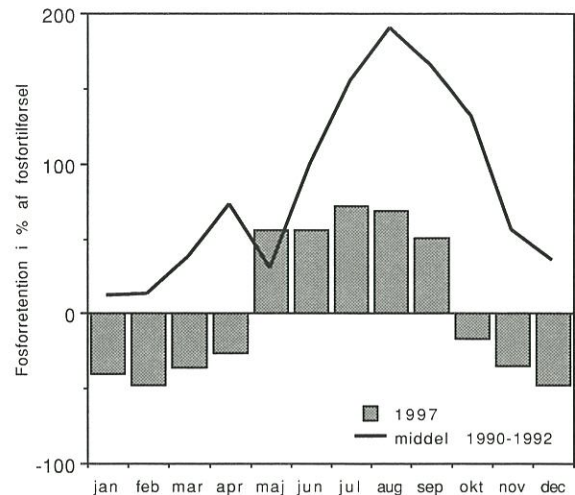
I følge Vandkvalitetsplan 1997 skal den gennemsnitlige fosforkoncentration i indløbsvandet reduceres til maksimalt 150 µg P/l. Det forventes, at indløbskoncentrationen i de kommende år vil nå endnu længere ned, når de planlagte belastningsreducerende tiltag i oplandet er gennemført.

Stofomsætning over året

Fosfor

Der er altså sket store ændringer i fosforomsætningen i Brabrand Sø i de sidste 10 år. I det følgende vil variationen i omsætning med mere igennem 1997 blive beskrevet og sammenlignet med de variationer henover året, som var i søen i sedimentfjernelsens første år.

På daværende tidspunkt var der stadig en betragtelig fosforpulje i sedimentet og frigivelsen var stor. I 1990 blev der således ført mere end 14 ton fosfor mere ud af søen, end der kom ind og i 1991 og 1992 var nettoeksporten omkring 8 ton om året. I alle tre år svarede det til en nettoeksport af fosfor på mere end 50 % af den tilførte mængde. I 1997 var forholdene markant forandrede og der blev nu tilbageholdt omkring 400 kg fosfor eller ca. 4 % af tilførslerne.



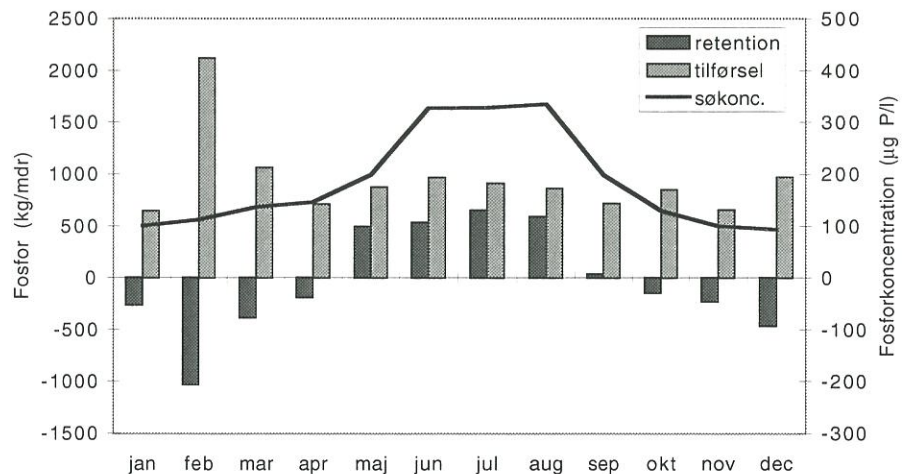
Figur 12

Den månedlige fosfortilbageholdelse/-frigivelse i procent af fosfortilførslen i Brabrand Sø angivet som et gennemsnit for årene 1990 - 1992 og for 1997.

Den store fosforfrigivelse i de første år af 1990'erne foregik hele året rundt (figur 12). Det var naturligvis særligt i sensommermånederne juli, august og september, at der blev frigivet store fosformængder. Men også i vinterhalvåret var der en nettotransport af fosfor fra sedimentet til søvandet. En væsentlig årsag hertil var nok, at opgravningen medførte en stor ophvirvling af sediment og dermed en fosforfrigivelse.

I 1997 blev der som nævnt tilbageholdt en lille del af den tilførte fosfor. Søen var dog endnu ikke i ligevægt med fosfortilførslerne. Hertil kræves en tilbageholdelse på 25 - 30 % af tilførslerne.

Der er nu en nettotilbageholdelse i vinterhalvåret og fos-



Figur 13

Den månedlige fosfortilførsel og fosforretention for Brabrand Sø i 1997 sammenlignet med fosforkoncentrationen i søvandet over året.

forfrigivelsen er begrænset til årets varmeste måneder. I 1997 var der en fosforfrigivelse i perioden maj til august på ca. 2 ton eller omkring halvdelen af den tilførte mængde.

Det er fortsat fosforfrigivelsen, som er bestemmende for fosforniveauet i søen i sommerhalvåret (figur 13). Fosforkoncentrationen steg i 1997 i maj fra et niveau omkring 100 µg P/l bestemt af indløbskoncentrationen til et niveau omkring eller over 300 µg P/l som følge af den frigivelse, der skete i maj og juni. I september og oktober var der atter en nettotilbageholdelse i søen og fosforkoncentrationen faldt igen til ca. 100 µg P/l.

En reduktion af fosfortilførslerne vil i de kommende år i første række medføre en reduktion i "baggrundskoncentrationen" altså fosforkoncentrationen i vinterhalvåret. Mindre fosfortilførsler vil også reducere fosforkoncentrationen i Brabrand Sø om sommeren, men et lavere fosforniveau i sommermånederne opnåes primært som følge af den forventede reducerede fosforfrigivelse.

Kvælstof

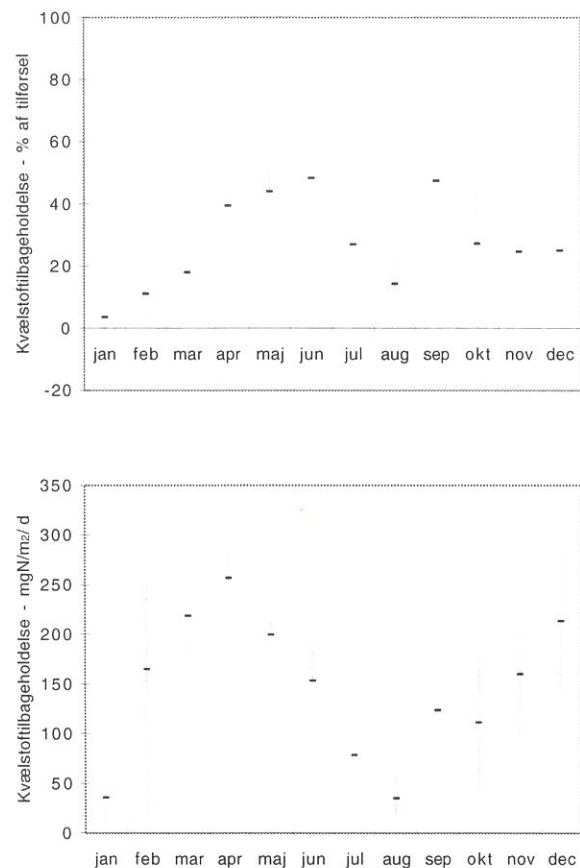
Der er som tidligere nævnt en tendens til, at der er sket en ændring i kvælstofdynamikken i søen siden 1995 bedømt ud fra kvælstofniveauet. Figur 14 præsenterer den månedlige kvælstofomsætning i Brabrand Sø som kvælstoftilbageholdelsen i 1995, 1996 og 1997 i procent af kvælstoftilførslen og som en arealrelateret størrelse.

Der har været en lille kvælstoftilbageholdelse i Brabrand Sø i januar måned såvel arealrelateret i forhold til andre tilsvarende lavvandede danske søer som i forhold til tilførslerne i de tre måleår. Det vurderes, at årsagen hertil er atypiske vejrforhold i januar '95 og '97. Januar '95 var meget våd og der var en meget stor kvælstoftilførsel, hvorimod januar '97 var tør med en meget lille kvælstoftilførsel. Umiddelbart burde der nemlig ikke være nogen væsentlig forskel på kvælstof-omsætningen i januar og februar.

Januar og februar er ofte karakteriseret af en stor vand- og stoftilførsel. Kvælstoftilgængeligheden er dermed stor, hvilket resulterer i en stor kvælstoftilbageholdelse. I forhold til den tilførte mængde er der dog blot tale om en tilbageholdelse på 10 - 20 %.

I takt med at temperaturen stiger, stiger også den procentvise kvælstoftilbageholdelse. Tilbageholdelsen toppe i april og maj, hvor temperaturen er forholdsvis høj og hvor kvælstoftilførslen fortsat er forholdsvis stor og der derfor stadig er en betragtelig kvælstofpulje tilgængelig.

I sommermånederne falder kvælstoftilførslen til mindre end det halve af vinterniveauet og kvælstoftilgængelig-



Figur 14

Den månedlige kvælstoftilbageholdelse i Brabrand Sø i procent af kvælstoftilførslen (øverst) og arealrelateret (nederst) præsenteret ved 25 - og 75 % fraktiler og gennemsnit for perioden 1995 - 1997.

heden bliver derfor væsentligt mindre - den arealrelaterede kvælstoftilbageholdelse reduceres kraftigt. Kvælstoftilbageholdelsen reduceres dog også i forhold til tilførslerne. Årsagen er blandt andet det skifte i algesammensætningen, som sker i søen henover sommeren, imod en stadigt større dominans af blågrønalger. Blågrønalgerne i Brabrand Sø er nemlig i stand til at fiksere atmosfærisk kvælstof, hvilket modsvarer den denitrifikation, som finder sted. Samtidigt sedimenterer blågrønalgerne relativt langsomt ud af vandfasen, så en større del af disse alger føres ud af søen via afløbet og med dem en vis mængde kvælstof.

Nettoresultatet er altså en beskedent kvælstoffjernelse i juli og særligt i august måned.

I september sedimenterer hovedparten af de alger, som

har været i søen i sensommeren og med dem en vis kvælstofmængde - kvælstoftilbageholdelsen i forhold til tilførslerne (som fortsat er forholdsvis små) er derfor stor.

I årets sidste måneder øges tilførslerne og kvælstoftilbageholdelsen i absolutte mængder stiger.

Vandkemi

I det følgende vil de vandkemiske forhold i Brabrand Sø blive gennemgået. For at beskrive tilstanden vil gennemgangen tage udgangspunkt i de vandprøver, der er taget i søen i 1999. Desuden vil de seneste undersøgelser blive sammenlignet med forholdene i søen siden 1989.

I årene fra 1989 til 1997 er der taget prøver i Brabrand Sø 19 gange om året hvert år - en gang om året i vinterhalvåret og en gang hver 14. dag om sommeren. I 1999 er prøvetagningsantallet skåret ned til 12 prøver - en gang om måneden.

Sigt dybde

Generelt var sigt dybden større i 1999 end i de foregående ti år. Særligt i vintermånederne har vandet været mere klart end tidligere med sigt dybder mellem 1,0 og 1,5 meter.

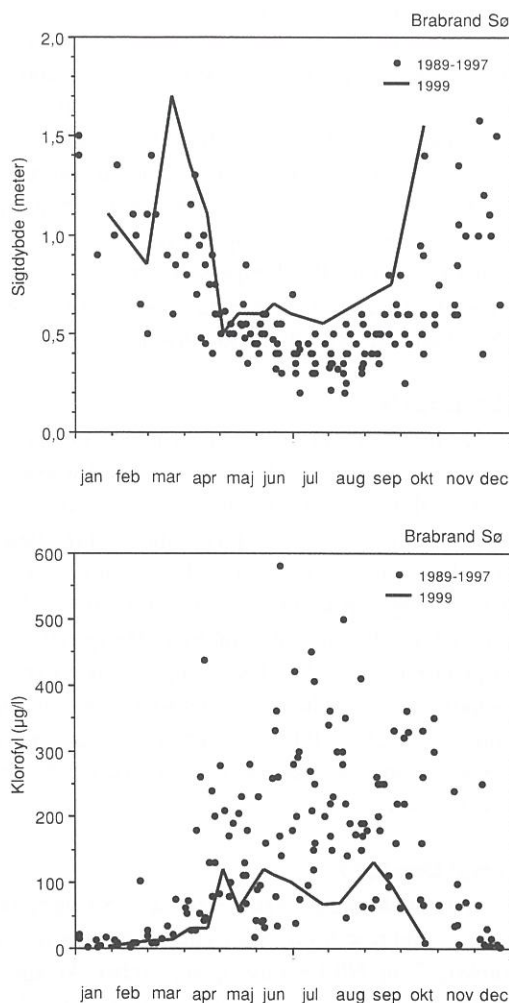
Den gennemsnitlige sommersigt dybde var 0,6 meter, hvilket også er højere end tidligere. Vandet i Brabrand Sø er dog stadig meget uklart med små sigt dybder i sommerhalvåret fra maj til september.

Klorofyl

Det er i væsentlig grad klorofylkoncentrationen, som et mål for indholdet af alger, der er bestemmende for sigt dybden i søen. Den stigende sigt dybde modsvares derfor i et fald i indholdet af klorofyl i søvandet.

I 1999 var den gennemsnitlige klorofylkoncentration i sommermånederne 93 µg/l, hvilket er væsentligt mindre end i de foregående ti år (figur 15). I starten af 1990'erne var næringsstofniveauet så højt, at algerne ikke på noget tidspunkt manglede næring. I takt med at fosforkoncentrationen er blevet mindre om sommeren, er også algemængden målt som klorofyl reduceret og Brabrand Sø oplever ikke længere ekstremt høje klorofylkoncentrationer på 3 - 4 og 500 µg/l.

Det reducerede klorofylniveau er også slået igennem i efterårsmånederne med væsentligt lavere koncentrationer end i den foregående tiårs periode.



Figur 15
Årstidsvariationen i sigt dybde (øverst), klorofylkoncentration (i midten) og klorofylkoncentration (nederst) i Brabrand Sø i 1999 sammenlignet med målinger i perioden 1989 - 1997.

Total fosfor

Som det flere gange er bemærket, er fosforkoncentrationen blevet væsentligt mindre i Brabrand Sø i de senere år.

Niveauet er reduceret for hele året. I vintermånederne var fosforkoncentrationen ca. 100 µg P/l i 1999 og bestemt af indløbskoncentrationen. Tidligere var der meget høje fosforkoncentrationer i Brabrand Sø hen over sommeren på grund af store fosforfrigivelser fra sedimentet. Der foregår stadigvæk en fosforfrigivelse i søen men ikke i samme størrelsesorden som tidligere. I 1999 var den gennemsnitlige fosforkoncentration i sommermånederne ca. 200 µg P/l og maksimum i august omkring 300 µg P/l. Begge værdier er et udtryk for et væsentligt lavere fosforniveau i søen end tidligere, men dog stadig et forholdsvis højt niveau.

Orthofosfat

Koncentrationen af orthofosfat (opløst fosfor) er blevet mindre i takt med reduktionen i total fosforkoncentrationen. Tidligere medførte den massive fosforfrigivelse af opløst fosfor, at algerne ikke kunne optage hele puljen med høje koncentrationer til følge i sommermånederne.

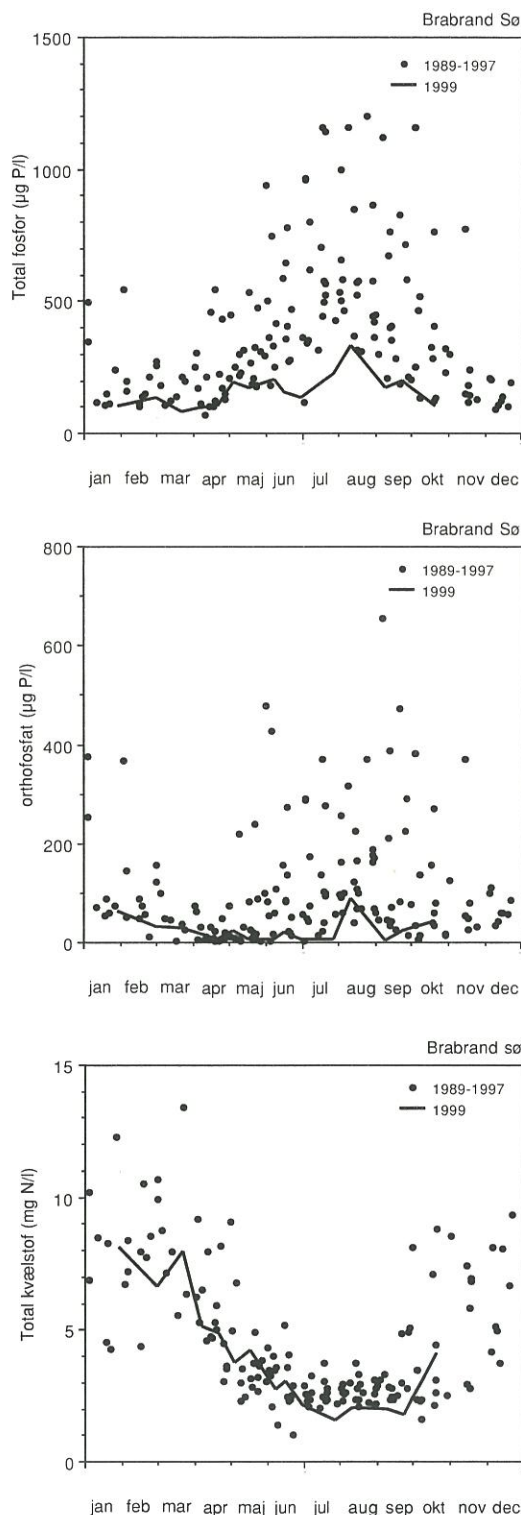
I 1999 steg koncentrationen af opløst fosfor kun til et forholdsvis højt niveau (omkring 100 µg P/l), da fosforfrigivelsen var på sit højeste i august. I den øvrige del af sommeren var indholdet af opløst fosfor omkring eller mindre end 20 µg P/l og det må antages, at opløst fosfor i kortere perioder har været begrænsende for algernes vækst i søen.

Total kvælstof

Kvælstofkoncentrationen i Brabrand Sø varierer fra et niveau omkring 8 mg N/l i januar, februar og marts til omkring 2 mg N/l i august og september. Årsagen til det generelt lavere niveau i sommerhalvåret er dels mindre tilførsler, men også en relativ større kvælstofomsætning og kvælstoffjernelse i perioden fra april til juni, hvor temperaturen er stigende samtidigt med at kvælstoftilgængeligheden er stor.

Der er ikke sket nogen væsentlige ændringer i kvælstofniveauet i søvandet i de seneste ti år, på trods af at indløbskoncentration har været mindre, end den var i 1980'erne. Den reducerede indløbskoncentration i 1990'erne skyldes hovedsaglig mindre nedbør og afstrømning fremfor ændret dyrkningspraksis i oplandet.

Den samlede kvælstoftilførsel har ikke varieret så meget som indløbskoncentrationen og derfor har kvælstofniveauet i søen fra år til år været nogenlunde konstant.



Figur 16
Årstidsvariationen i koncentrationen af total fosfor (øverst), opløst fosfor (i midten) og total kvælstof (nederst) i Brabrand Sø i 1999 sammenlignet med målinger i perioden 1989 - 1997.

Nitrat

Også nitratkoncentrationen bliver væsentligt mindre hen over foråret fra 7 - 8 mg N/l i vintermånederne til mindre end 1 mg N/l i juli og august. I 1999 er der registreret nitratkoncentrationer mindre end 0,1 mg N/l på en enkelt prøvetagningsdato i sensommeren.

Produktionen i Brabrand Sø er blevet mindre i de senere år. Derfor er kvælstofoptagelsen og kvælstofbehovet også blevet mindre. Det vurderes derfor, at kvælstof i de foregående år har haft en mere regulerende effekt på algerne i Brabrand Sø, simpelthen fordi der har været flere alger men nogenlunde den samme nitratkoncentration i vandet. Det må i den forbindelse forventes, at det fremover ikke vil være kvælstof men i højere grad fosfor, der vil have en regulerende effekt på vækst og produktion i søen

Nitratkoncentrationen steg igen i efteråret '99, hvor optagelsen er mindre og tilførslen større, ligesom det er sket i de foregående år.

Opløst silicium

Silicium er et vigtigt næringsstof for først og fremmest kiselalgerne, fordi silicium indgår i disse algers kiselskal.

Variationen i indholdet af opløst silicium er stor i Brabrand Sø henover året. Forbruget er beskedent i det tidlige forår, hvor tilførslen er størst. Derfor er koncentrationen relativ stor her. Der er normalt et stort kiselalgemaksimum i Brabrand Sø i april og maj - således også i 1999. Resultatet er en stor optagelse af opløst silicium med lave koncentrationer til følge.

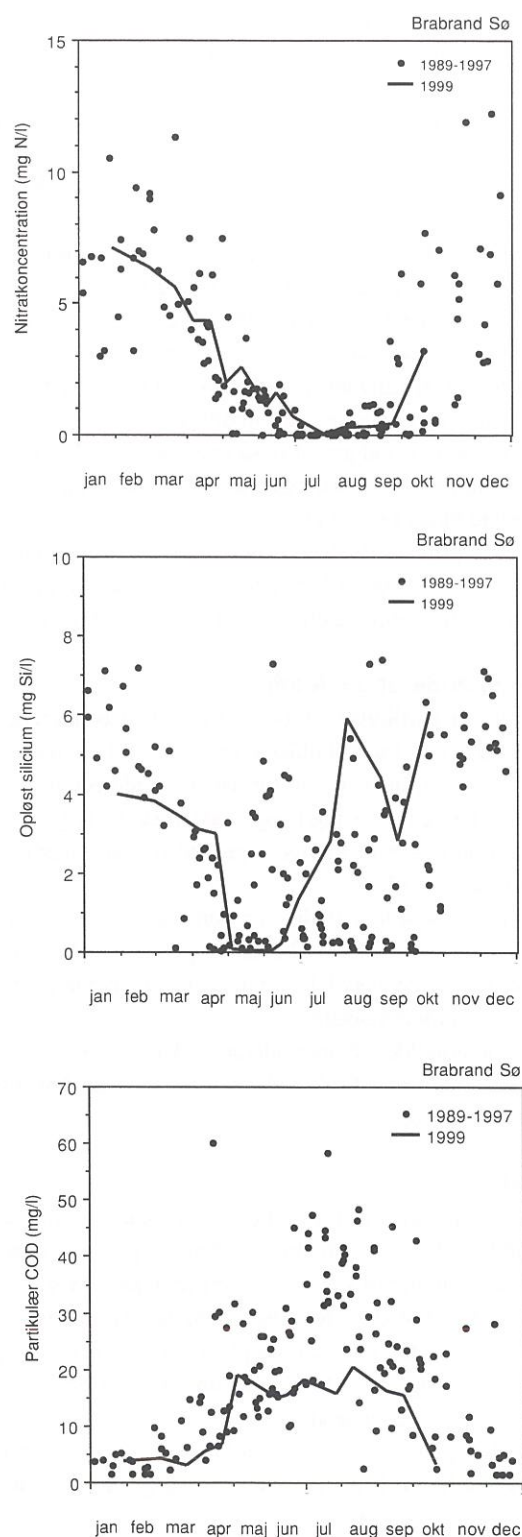
Kiselalgerne forsvinder i løbet af sommeren og silicium bundet i skallerne frigives igen til søvandet. Da tilførslerne samtidigt øges i løbet af efteråret, stiger koncentrationen af opløst silicium i årets sidste halvdel.

Det vurderes, at 1999 ikke har været forskellig fra de foregående år, hvad angår tilgængeligheden af opløst silicium.

Partikulær COD

Partikulær COD er et mål for indholdet af organisk stof i vandet. Reduktionen af algemængden kan derfor også registreres på indholdet af partikulær COD, som var mindre i 1999 i forhold til de foregående år.

Som for klorofyls vedkommende var der et lavt vinterniveau (på ca. 5 mg/l) og et noget højere sommerniveau (på ca. 20 mg/l).



Figur 17

Årstidsvariationen i koncentrationen af nitrat (øverst), opløst silicium (i midten) og partikulær COD (nederst) i Brabrand Sø i 1999 sammenlignet med målinger i perioden 1989 - 1997.

Suspenderet tørstof

Det suspenderede tørstof er et mål for søvandets indhold af større partikler. De to væsentligste bestanddele er døde og levende alger samt ophvirvlet materiale fra bunden i form af sand, ler, silt mm.

På figur 18 kan man se, at indholdet af suspenderet tørstof i perioden fra januar til april er omkring 10 mg/l og nogenlunde som i de tidligere måleår. I sommermånederne stiger niveauet til 30 - 40 mg/l. Koncentrationen af suspenderet tørstof i 1999 var dog mindre end i de foregående år. Årsagen hertil er den reduktion, som er sket i algerne i søen. Ikke blot vil en reduceret algerne medføre et mindre indhold af suspenderet tørstof. De færre alger vil også resultere i en mindre sedimentation og dermed også, at ophvirvlingen af bundmateriale bliver reduceret.

Det er primært de øverste nyligt sedimenterede lag, som hvirvles op. Derfor har sedimentfjernelsen kun i mindre grad haft en direkte effekt på ophvirvlingsgraden.

Suspenderet glødetab

Som for partikulær COD er også det suspenderede glødetab et mål for indholdet af organisk stof i vandet.

Koncentrationen er som for det suspenderede tørstof lav om vinteren (< 5 mg/l) og i takt med en stigende produktion igennem foråret noget større i sommerhalvåret (op til 20 mg/l).

Selvom indholdet af alger er større om sommeren, udgør glødetabet ikke hele puljen af suspenderet tørstof. Der er altså også en betydelig ophvirvling af bundmateriale i søen i sommerhalvåret.

Også indholdet af suspenderet glødetab er blevet mindre i de senere år i Brabrand Sø som følge af den mindre algebiomasse.

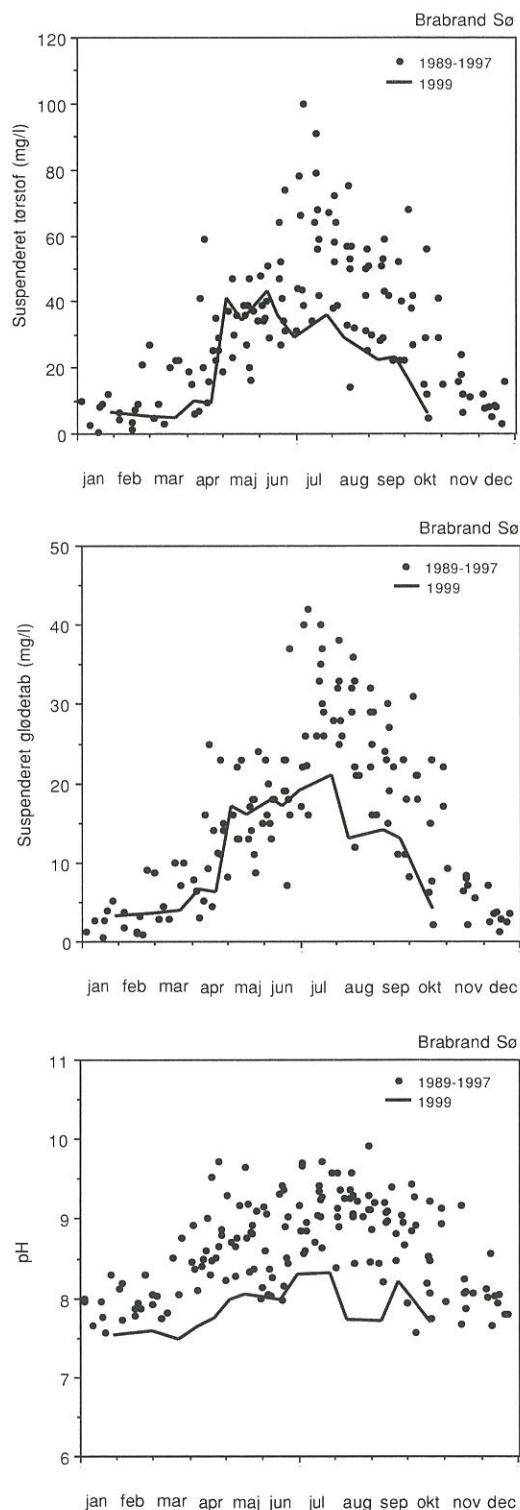
pH

Gennem algerne fotosyntese og produktion omdannes kuldioxid til kulhydrat. I denne proces udskilles hydroxylioner til vandet med stigende pH til følge.

Som følge af den store algerne i Brabrand Sø har produktionen været stor og pH relativt høj i sommerperioden i mange år. I 1999 er pH-niveauet væsentligt lavere end i de foregående år.

Nedgangen i pH er en væsentlig indikation på en mindre produktion i Brabrand Sø som følge af et reduceret næringsniveau.

Fosforfrigivelsen fra sedimentet er pH afhængig, idet frigivelsen stiger med stigende pH. Der er ingen tvivl om, at det høje pH-niveau, som var i søen i starten af 1990'erne, har bidraget til den store fosforfrigivelse. Derfor har faldet i pH også haft en reducerende effekt på fosforfrigivelsen i Brabrand Sø.



Figur 18
Årstidsvariationen i koncentrationen af suspenderet tørstof (øverst), suspenderet glødetab (i midten) og pH (nederst) i Brabrand Sø i 1999 sammenlignet med målinger i perioden 1989 - 1997.

Sammenhæng mellem vandkemiske parametre

Da Brabrand Sø i de seneste ti år har gennemgået en kraftig udvikling er forholdene mellem de enkelte måleparametre løbende ændret. De følgende sammenstillinger repræsenterer altså ikke en statisk tilstand men de forskellige næringsstofniveauer, som har været i Brabrand Sø igennem de sidste 20 år. I alle tyve år har søen været uklar uden undervandsvegetation. Sammenstillingerne repræsenterer dermed Brabrand Sø i en tilstand med uklart vand, uden undervandsplanter men altså ved flere næringsstofniveauer.

Det er ikke givet, at relationerne mellem de enkelte parametre vil være de samme i en fremtidig klarvandet tilstand, ligesom der skal gøres opmærksom på, at de forskellige variable til en vis grad kan være indbyrdes afhængige.

Det vurderes dog, at de anvendte relationer kan give et fingerpeg om hvilke forudsætninger, der skal være til stede, for at opnå den ønskede tilstand i Brabrand Sø.

I Vandkvalitetsplanen for Århus Amt er det anført, at den gennemsnitlige sommersigt dybde skal være 0,8 - 1,0 meter i Brabrand Sø.

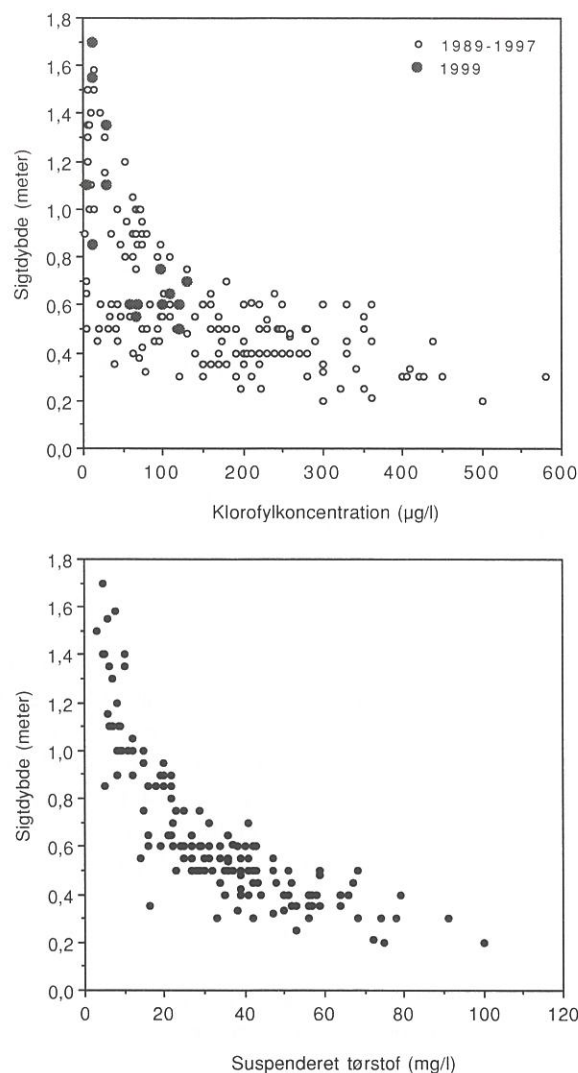
Det fremgår af figur 19 for relationerne mellem sigt dybde og klorofylkoncentration og sigt dybde og suspenderet tørstof, at en sigt dybde på 0,8 - 1,0 meter ikke kan forventes, hvis klorofylkoncentrationen er større end ca. 50 µg/l. En sådan sammenhæng er også fundet i en række sammenstillinger fra andre danske lavvandede søer (f.eks Kristensen P. et al, 1990)).

På figur 19 kan det endvidere ses, at en sigt dybde større end 1 meter kræver, at koncentrationen af suspenderet tørstof ikke er højere end ca. 10 mg/l.

Sammenhængen mellem klorofyl og suspenderet tørstof (ikke vist) viser i øvrigt, at der er et suspenderet tørstofindhold på ca. 10 mg/l ved en klorofylkoncentration på omkring 50 µg/l i Brabrand Sø.

I 1999 var de gennemsnitlige sommergennemsnit for koncentrationen af henholdsvis klorofyl og suspenderet tørstof 93 µg/l og 31 mg/l. Begge parametre skal således reduceres væsentligt, før det kan forventes, at søens målsætning for sigt dybden kan opfyldes.

På baggrund af målinger af klorofyl, suspenderet tørstof og suspenderet glødetab er det muligt at estimere den relative betydning af henholdsvis alger, detritus (ophvirket materiale) og vandets egenfarve for sigt dybdens størrelse (Søndergård et al., 1998).



Figur 19

Sammenhængen mellem klorofylkoncentration og sigt dybde for årene 1984 til 1999 (øverst) og suspenderet tørstof og sigt dybde for årene 1990 til 1999 (nederst) i Brabrand Sø.

Figur 20 angiver de tre komponenters betydning for sigt dybden i Brabrand Sø siden 1990. Det fremgår, at algernes andel af sigt dybden er reduceret i perioden, hvilket stemmer godt overens med reduktionen i algerne biomasse. I takt med at algerne betydning for sigt dybden bliver mindre, får detritus en større effekt på vandets klarhed. Detritus's andel af sigt dybden er steget fra omkring 20 % i 1990 til omkring 35 % i 1999.

I perioden fra 1990 til 1999 er den gennemsnitlige sommersigt dybde steget fra ca. 0,4 meter til 0,6 meter. Jo klarere vandet bliver, desto større betydning får van-

dets egenfarve generelt på sigtdybden. Denne udvikling kan også registreres i Brabrand Sø, hvor vandets egenfarves andel af sigtdybden er steget fra ca. 5 til ca. 10 %.

Det er altså vigtigt i første omgang at reducere fosforniveauet i søen således, at algebiomassen reduceres og algernes bidrag til lysdæmpningen i søen formindskes. I takt med at algebiomassen bliver mindre, vil detritus' relative betydning for sigtdybden blive større.

Når algemængden falder vil ophvirvlingen af døde alger også blive mindre. En væsentlig reduktion i ophvirvlingen af bundmateriale opnåes dog først, hvis undervandsvegetation etablerer sig i søen.

Det er i denne forbindelse naturligvis interessant at vide, hvilken fosforkoncentration, der skal tilstræbes, før algemængden er så lille, at en sigtdybde på 0,8 - 1 meter som et sommergennemsnit kan forventes.

På figur 21 er sammenhængen mellem sommergennemsnittene af de målte fosforkoncentrationer og sigtdybder i Brabrand Sø fra 1984 til 1999 præsenteret. Da der ikke eksisterer sammenhængende sigtdybde - fosfordata ved fosforkoncentrationer mindre end 0,2 mg P/l fra Brabrand Sø er samtidigt en sigtdybde-fosfor relation fremkommet ud fra data fra Vandmiljøplanens Overvågningsprogram ((Windolf J., et al, 1993) angivet.

$$\text{Sigt dybde} = 0,19 \text{ mdyb}^{0,36} \text{ Psø}^{(-0,56)} \text{ Søareal}^{(-0,1)}$$

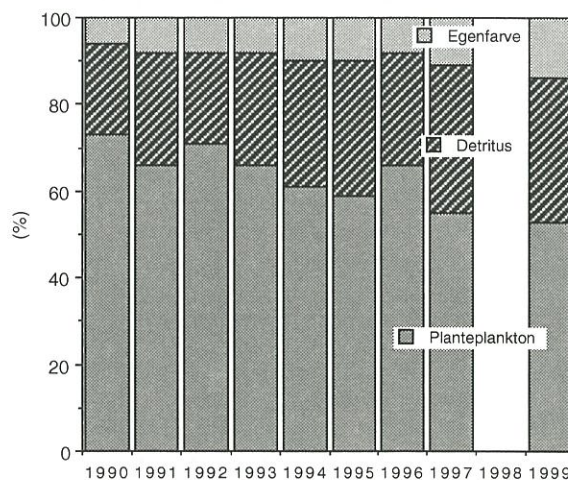
hvor mdyb er søens middeldybde og Psø er fosforkoncentrationen som et sommergennemsnit.

Den teoretiske sammenhæng afviger ikke i væsentlig grad fra de målte sammenhænge og det vurderes, at relationen kan anvendes til at estimere den ønskede fosforkoncentration.

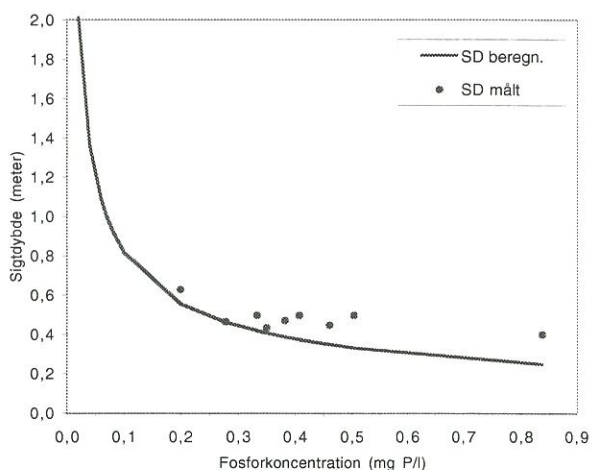
I følge Vandkvalitetsplanen for Århus Amt skal det tilstræbes, at fosforkoncentrationen i søen maksimalt bliver 0,12 - 0,13 mg P/l. Dette vil sikre en sigtdybde på ca. 0,8 meter i gennemsnit i sommerhalvåret (figur 21).

Indvandring af undervandsplanter kræver imidlertid mere klart vand og en gennemsnitlig sigtdybde på mere end 1 meter som et sommergennemsnit.

Ved anvendelse af den beskrevne model må den gennemsnitlige fosforkoncentration i Brabrand Sø om sommeren ikke overstige 0,07 mg P/l, for at sigtdybden kan være større end 1 meter som et sommergennemsnit.



Figur 20
Plantepilanktons, detritus' og vandets egenfarves betydning for sigt dybden i Brabrand Sø i måleårene fra 1990 til 1999 beregnet ud fra sommergennemsnit.



Figur 21
Sammenhængen mellem fosforkoncentration og henholdsvis beregnet - og målt sigt dybde præsenteret som sommergennemsnit fra Brabrand Sø for måleårene fra 1984 til 1999.

Alger og dyreplankton

Alger

I lighed med målingerne af søens vandkemi er der taget prøver til bestemmelse af algerne biomasse og sammensætning hvert år siden 1990.

I dette afsnit er prøverne fra 1991, 1993, 1995 og 1997 anvendt til at beskrive algerne udviklingen i 1990'erne.

Brabrand Sø har i 1970'erne - og 80'erne været karakteriseret af meget høje næringsstofniveauer. Som følge heraf har algebiomassen været meget stor og algerne har i vidt omfang været begrænset af lystilgængeligheden fremfor næringsstofkoncentrationen.

Normalt vil grønalger dominere i danske hypereutrofe søer (Kristensen et al., 1991). I Brabrand Sø er der da også registreret en vis mængde små grønalger, men på grund af den hurtige gennemstrømning i søen har gruppen af små kiselalgearter været altdominerende i søen hele året rundt.

Biomassen har været stor (op til 150 mg vådvægt/l) og sigtddybden meget lille (mindre end 0,5 meter i sommermånederne). På figur 22 kan man se, at der er blevet færre alger i søen fra 1991 til 1995 parallelt med den reduktion i fosforkoncentrationen, som er sket i perioden. Det var dog stadig i 1995 kiselalgerne, der domerede iblandet en lille del blågrønalger i sensommeren. Hvor grønalgerne kun udgjorde en mindre del af biomassen i 1991, var de stort set forsvundet fra søen i 1995.

Fosforkoncentrationen i søen var endnu mindre i 1997.

Dette medførte ikke nogen yderligere reduktion i den samlede mængde af alger i Brabrand Sø. Derimod indtrådte et skifte i algesammensætningen fra en dominans af kiselalger til en dominans af blågrønalger - i hvert fald i årets sidste halvdel. Et skifte i algesammensætningen i forbindelse med en kraftig reduktion i næringsstofkoncentrationen ses ofte i danske søer.

Årstidsvariation

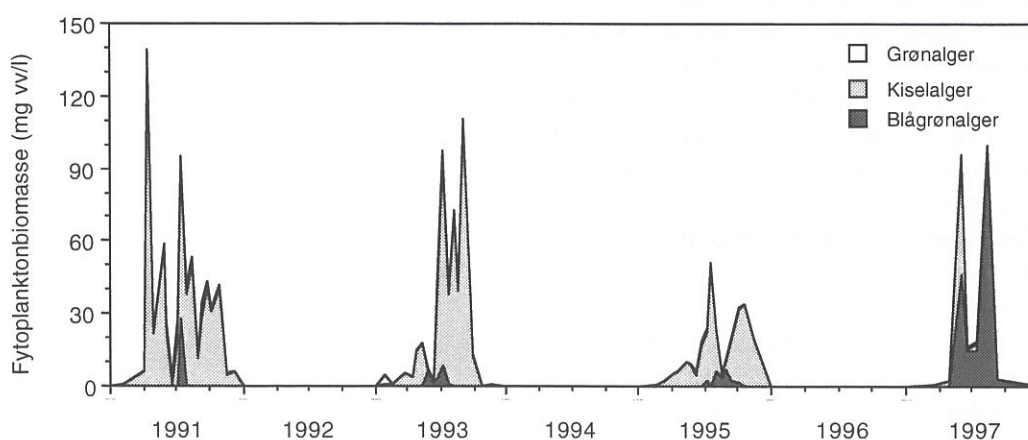
Algebiomassen har haft en aftagende tendens i perioden fra 1991 til 1995, hvor kiselalgerne har været den dominerende algegruppe.

Typisk sker der en opblomstring af alger i forårsmånederne, som delvist falder hen i løbet af juni måned. Det kan dog konstateres, at forårsmaksimummet har varieret noget fra år til år og i visse år faktisk været temmelig lille i forhold til søens næringsstofstatus. I juli og august formerer algerne sig kraftigt og endnu en biomassetop nåes i sensommeren.

Hvor forårsmaksimummet primært består af større kiselalger, bestod sommeropvæksten i højere grad af små hurtigt voksende kiselalgearter.

I 1997 var kiselalgerne forårsopblomstring også temmelig kortvarig. En forklaring herpå er, at Brabrand Sø i forårsmånederne ofte gennemskylles meget hurtigt. Derfor når algerne så at sig ikke at opbygge en større biomasse, før de skylles ud i af søen.

I juni 1997 blev der registreret en biomasse på ca. 100 mg vv/l bestående af lige dele blågrønalger og kiselal-



Figur 22

De dominerende algegrupperes årstidsvariation i Brabrand Sø i måleårene fra 1991 til 1997 præsenteret i mg vådvægt pr. liter (sumkurver).

ger. I juli blev algebiomassen reduceret for i august og september igen at stige kraftigt til niveauet omkring 100 mg vv/l. Denne top bestod stort set udelukkende af blågrønalger, hvilket som nævnt ikke tidligere er set i Brabrand Sø.

Den samlede algebiomasse blev reduceret parallelt med reduktionen af total fosforkoncentrationen fra 1991 til 1995. I forbindelse med algesamfundets ændrede sammensætning fra 1995 til 1997 er den samlede biomasse steget igen, uanset fosforkoncentrationen i søvandet har fortsat den nedadgående tendens.

På figur 23 kan det ses, at kiselalgerne gennemsnitlige biomasse er reduceret fra omkring 30 mg vv/l til 6 mg vv/l, men samtidigt er blågrønalgerne gennemsnitlige biomasse over året fra 1995 til 1997 steget fra ca. 2 mg vv/l til næsten 20 mg vv/l.

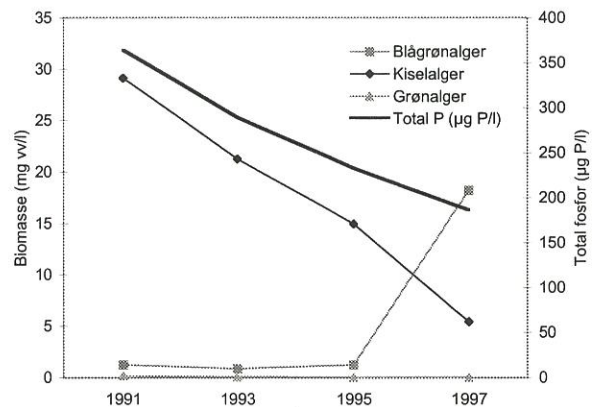
Algernes sammensætning og biomasse er ikke undersøgt i 1999. Bedømt ud fra det indtryk, som tilsynet på søen igennem sommeren '99 har givet, er det fortsat blågrønalgerne, der dominerer som i 1997. Hvad biomassen angår, viser klorofylmålingerne, at der har været en mindre reduktion i algebiomassen fra 1997 til 1999.

Det fremgår af figur 23, at grønalgerne biomasse i Brabrand Sø på intet tidspunkt i måleperioden har haft en betydning for søen.

Det er beskrevet i Jensen et al (1997) hvorledes grønalgers biomasse i lavvandede søer stiger i søer med fosforkoncentrationer større end 400 µg P/l. Brabrand Sø har haft fosforkoncentrationer i 1990'erne, på mindre end 400 µg P/l og altså ikke været en optimal "grønalgesø". Derimod var næringsstofniveauet større end 1000 µg P/l i 1970- og 1980'erne. Der eksisterer ikke egentlige biomasseberegninger af algerne i Brabrand Sø fra denne periode, men mange kvalitative opgørelser som samstemmende beretter om store mængder af grønalger i søen (Århus Amt, 1979, Århus Amt, 1985)

Fosforniveauet har i første halvdel af 1990'erne været 300 - 500 µg P/l og som sådan favoriseret kiselalgerne. I 1997 var fosforkoncentrationen som et sommergennemsnit ca. 280 µg P/l og i 1999 omkring 200 µg P/l. Dette niveau medfører øjensynligt en dominans af blå-grønalger i Brabrand Sø.

Det er sandsynligt, at blågrønalgerne vil fortsætte med at dominere i søen selvom fosforkoncentrationen reduceres i de kommende år. Erfaringer fra bl.a. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram viser, at en væsentlig mere varieret algesammensætning først vil optræde i søen, når fosforkoncentrationen reduceres til et niveau på omkring 100 µg P/l eller mindre (Jensen et al, 1997). Det kan heller ikke forventes, at der sker en markant



Figur 23

Årsgennemsnittet for biomassen af blågrønalger, kiselalger og grønalger sammenlignet med årsgennemsnittet for total fosfor i Brabrand Sø i måleårene 1991, 1993, 1995 og 1997.

reduktion i den samlede fytoplanktonbiomasse før fosforniveauet i søen reduceres til et årligt gennemsnit på ca. 100 µg P/l.

Dyreplankton

Der er taget prøver til bestemmelse af dyreplankton i Brabrand Sø i 1991, 1993 og 1995 (figur 24).

I 1997 har algesamfundet skiftet karakter fra en dominans af kiselalger til en dominans af blågrønalger. Fødegrundlaget for dyreplankton er dermed ændret, fordi blågrønalgerne er større og på grund af deres evne til kolonidannelse. Det er derfor ikke givet, at dyreplanktonsamfundet i Brabrand Sø i 1997 og senere ser ud som ved den seneste undersøgelse i 1995.

I det følgende vil det tilgængelige undersøgelsesmateriale kort blive gennemgået.

1991 - 1995

Dyreplanktonet i Brabrand Sø var i første halvdel af 1990'erne karakteristisk for en meget næringsrig lavvandede sø. Hjuldyr dominerede i foråret efter algernes opblomstring i april. I sommermånederne udgjorde små cladocerer (fortrinsvis *Bosmina* arter) dyreplanktonet og i efterårsmånederne var der tillige en del copepoder i søen.

Dyreplanktonet bestod altså fortrinsvis af mindre arter. Da heller ikke biomassen var voldsom stor, var dyreplanktonet ikke i nævneværdig grad i stand til at græsse algerne ned i undersøgelsesperioden fra 1991 til 1995. Algerne i Brabrand Sø var dermed ikke reguleret "fra oven" af dyreplankton.

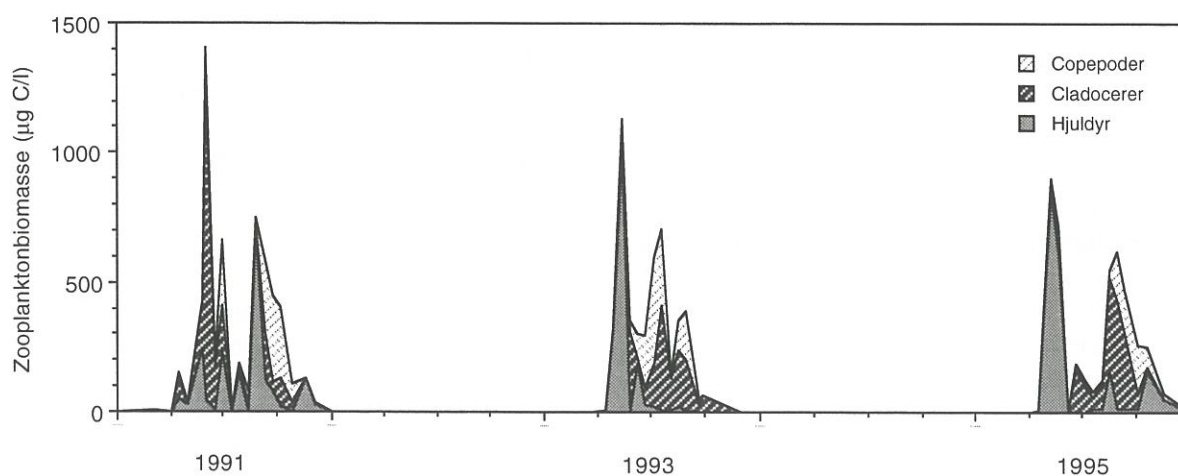
Dominansen af mindre arter af dyreplankton indikerer et stort græsningstryk fra fredfisk på dyreplanktonet. Fredfisk som skalle foretrækker de større dyreplanktonindivider. Derfor tyder en lille gennemsnitsstørrelse for dyreplanktonet på et stort græsningstryk fra fredfiskene.

De nuværende forhold

Der er som nævnt ikke taget prøver til bestemmelse af dyreplankton i de senere år. Bedømt ud fra algernes sammensætning og biomasse, søens næringsstofniveau mm. kan visse generelle træk for de nuværende forhold for dyreplanktonet i Brabrand Sø dog beskrives.

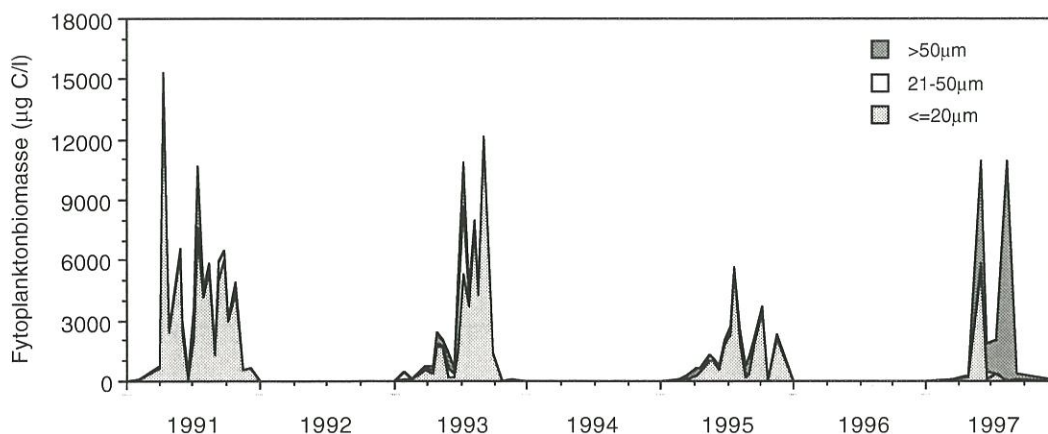
Blågrønalger er en dårligere fødekilde end kiselalger for dyreplanktonet. Årsagen hertil er dels, at blågrønalger generelt er større end mange kiselalger men også at blågrønalgerne typisk findes i kolonier omgivet af en gele masse, der gør det vanskeligt for dyreplanktonet at æde disse algetyper. På figur 25 er angivet algerne fordeling i Brabrand Sø på størrelsesgrupper. Det fremgår, at algerne specielt fra 1995 til 1997 generelt er blevet større og dermed ikke så tilgængelige som fødekilde.

Algerne skifte i sammensætning fra kisel - til blågrønalger har dermed "forværret" levevilkårene for dyreplanktonet i søen. Det er således ikke sandsynligt, at dyreplanktonets evne til at regulere algerne er steget i Brabrand Sø siden 1995. Selvom næringsstofniveauet er blevet mindre, er der sandsynligvis ikke sket nogen ændring i fiskesammensætningen og fredfiskenes predation på dyreplanktonet er dermed uændret. Dyreplanktonet er alt i alt fortsat en "trykket" gruppe og algerne i søen er derfor fortsat reguleret af næringsstofftilgængeligheden i søen.



Figur 24

Zooplanktonbiomassen i Brabrand Sø i 1991, 1993 og 1995 fordelt på de dominerende grupper.



Figur 25

Fytoplanktonet i Brabrand Sø fra 1991 til 1997 fordelt på størrelsesklasser.

Fremtidige forhold

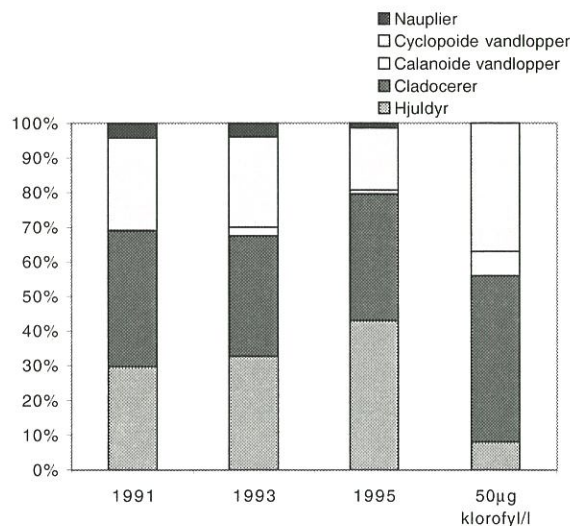
Dyreplanktonets sammensætning kan i høj grad tilskrives den store mængde dyreplanktonædende fisk som er i en meget næringsrig sø som Brabrand Sø. I en fremtidig mindre næringsrig tilstand med forholdsvis klart vand i søen og nogen udbredelse af undervandsplanter vil store former af dyreplankton dominere fremfor den dominans af små former, som ses i dag.

Herved vil græsningstrykket på algerne blive væsentligt større og en væsentlig regulering af algerne vil ske fra dyreplanktonets side.

Figur 26 viser dyreplanktonets fordeling på grupper i måleårene fra 1991 til 1995 og i en tilstand, hvor den gennemsnitlige klorofylkoncentration i sommerhalvåret maksimalt er 50 µg/l som foreskrevet i Vandkvalitetsplanen.

Hjuldryrenes bidrag til den samlede biomasse vil blive væsentlig mindre, medens cladocererne og særligt de store *Daphnia* arter vil dominere blandt dyreplanktonet. Også vandloppernes indbyrdes fordeling vil ændre sig, således at der bliver forholdsvis flere calanoide vandlopper på bekostning af de cyclopoide (Jensen J.P. et al, 1997). I den forbindelse skal det nævnes, at den tilstand, som skal opnåes i følge Vandkvalitetsplanen, fortsat er forholdsvis næringsrig. Under mere næringsfattige forhold vil dyreplanktonet være domineret af stor dafnier og calanoide vandlopper.

For at opnå forhold i Brabrand Sø, som opfylder Vandkvalitetsplanens målsætning, er det nødvendigt, at fiskebestanden ændrer karakter.



Figur 26

Dyreplanktonets fordeling på grupper i Brabrand Sø i 1991, 1993 og 1995 i sommerhalvåret samt den fordeling, som vil være i søen, når Vandkvalitetsplanens målsætning er opfyldt.

Den biologiske struktur i Brabrand Sø er nemlig tilpasset de høje næringskoncentrationer, som nu har været i mange år. Et reduceret næringsstofniveau vil ikke umiddelbart medføre et skifte i den biologiske struktur og herunder i fiskenes sammensætning. Et sådant skifte vil ske over mange år på grund af den træghed, som er i et biologisk system som Brabrand Sø.

Som nævnt dominerer fredfisk som skalle og brasen i dag. Bestanden af disse to arter skal reduceres betragteligt til et niveau mindre end 20 % af den eksisterende biomasse. Til gengæld skal bestanden af aborre og gedde øges tilsvarende, således at den samlede rovfiskebestand bliver omkring 50 % af den totale fiskebestand eller mere.

Ved aktivt at fjerne omkring 80 % af fredfiskebestanden - en såkaldt biomanipulation - kan det lade sig gøre at fremskynde de nødvendige ændringer i fiskesammensætningen og dermed i hele den biologiske struktur i søen.

Afgørende for stabile forhold i Brabrand Sø er dog først og fremmest, at fosfortilførslerne er tilstrækkeligt små. Når dette mål er opnået, kan det være nødvendigt at foretage en biomanipulation i søen for hurtigere at opnå en effekt af den indsats, som er gjort i oplandet for at reducere fosfortilførslerne.

Det skal understreges, at en eventuel biomanipulation først kan komme på tale, når fosfortilførslerne er reduceret til det niveau, som er angivet i Vandkvalitetsplanen.

Udviklingen i Brabrand Sø

Udviklingen i stoftilførslen til Brabrand Sø er behandlet i afsnittet om stofbalancen til søen.

I det følgende vil tilstanden i Brabrand Sø blive beskrevet for de seneste 25 år samt den udvikling, som forventes i søen i årene fremover.

Udviklingen er blandt andet illustreret ved hjælp af figurer, som de, der er vist her på siden. I figurerne er præsententeret gennemsnittet for de pågældende år som punktet på den angivne linie samt 25 - og 75 % fraktilerne, der er liniens to yderpunkter.

Fosfor

Som en konsekvens af den store reduktion, som er sket i fosfortilførslerne til Brabrand Sø igennem de sidste 10 - 15 år er fosforkoncentrationen i søen også blevet væsentlig mindre (figur 27 øverst).

I årene omkring 1990 blev der indført fosforrensning på alle større rensningsanlæg i søens opland. Dette resulterede i et kraftigt fald i såvel fosfortilførslerne som fosforkoncentrationen i Brabrand Sø.

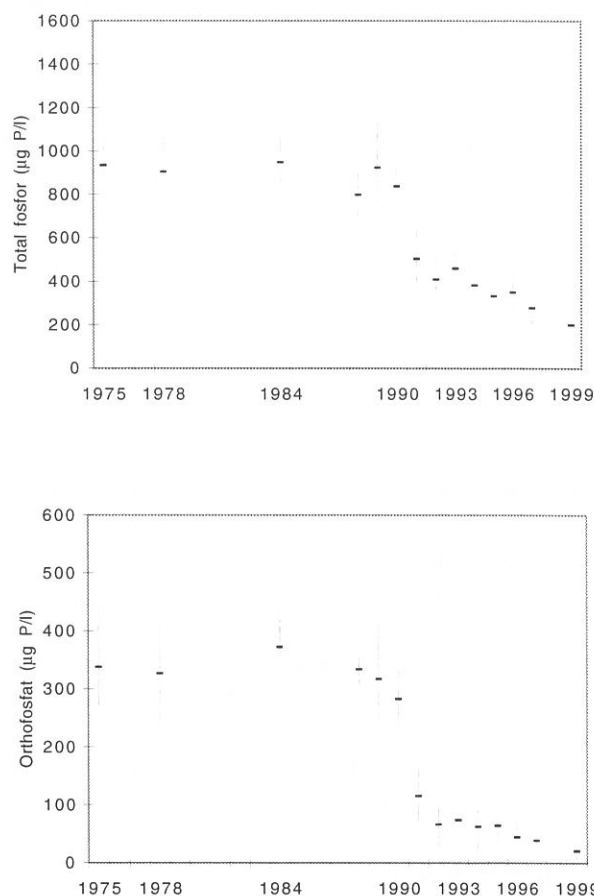
Fra 1988 til 1996 blev ca. 500.000 m³ sediment fjernet fra bunden af Brabrand Sø indeholdende omkring 300 ton fosfor. Dels fordi der i oppumpningsperioden stadig var en betragtelig sedimentpulje med forhøjede fosforkoncentrationer i søen og dels fordi sedimentet i nogen grad blev hvirvlet op ved oppumpningen, var der en betydelig fosforfrigivelse fra sedimentet til søvandet i starten af 1990'erne. Derfor var søkoncentrationen fortsat høj, selvom fosfortilførslerne var reduceret kraftigt. I takt med at det fosforrige sediment blev fjernet og oppumpningen afsluttet, blev søkoncentrationen mindre og den gennemsnitlige fosforkoncentration i sommerhalvåret var i 1999 omkring 200 µg P/l.

Der er altså sket en signifikant reduktion ($p < 0,01$) af fosforkoncentrationen i Brabrand Sø fra ca. 900 µg P/l i midten af 1980'erne til 200 µg P/l i 1999.

Et sommergennemsnit på 200 µg P/l er fortsat et højt gennemsnit og et udtryk for, at Brabrand Sø stadig er en næringsrig sø.

At Brabrand Sø er inde i en positiv udvikling, skal således ses i lyset af det meget høje udgangspunktet i 1980'erne.

Tilsvarende er indholdet af orthofosfat (opløst fosfor) blevet signifikant mindre i de sidste 15 år ($p < 0,01$) (figur 27 nederst). Indtil 1990 var der et meget højt indhold af orthofosfat i søen og et væsentligt overskud på trods af



Figur 27

Udviklingen i koncentrationen af total fosfor (øverst) og orthofosfat (i midten) fra 1975 til 1999 i Brabrand Sø med angivelse af sommergennemsnit samt 25 - og 75 % fraktiler.

den store produktion, som var i søen. I de senere år er orthofosfatkoncentrationen blevet markant mindre (sommergennemsnittet i 1999 var 21 µg P/l) og der var perioder særligt i løbet af forsommeren, hvor det må antages, at fosfor har været den begrænsende faktor for vækst i søen.

Yderligere reduktioner i fosforkoncentrationen i søen vil forlænge de perioder, hvor væksten er fosforbegrænset.

Klorofyl

Den store ændring i fosforkoncentrationen i Brabrand Sø har naturligvis også påvirket de biologiske forhold. Klorofylkoncentrationen er et udtryk for indholdet af alger i søvandet. På figur 28 øverst er udviklingen i klorofylkoncentrationen i Brabrand sø siden 1984 prææsenteret.

Også for indholdet af klorofyl er der sket en signifikant reduktion siden midten af 1980'erne ($p < 0,01$). I 1999 var den gennemsnitlige sommerkoncentration 93 $\mu\text{gP/l}$ eller omkring det halve af niveauet først i 1990'erne.

Reduktionen i indholdet af klorofyl er dog sket mere jævnt og ikke så hurtigt som faldet i fosforkoncentrationen. Dette er et udtryk for den biologiske træghed, som er i en sø som Brabrand Sø, der igennem mange år har været tilpasset til store næringsstofftilførsler og - koncentrationer.

Sigt dybde

Indholdet af klorofyl og dermed mængden af alger i søen har en væsentlig betydning for sigt dybden. I Brabrand Sø har der været en mindre stigning i sigt dybden fra 1984 til 1999 parallelt med reduktionen i klorofylkoncentrationen (figur 28 - i midten). I 1980'erne var den gennemsnitlige sommersigt dybde mindre end 0,4 meter, medens gennemsnittet i 1999 er beregnet til godt og vel 0,6 meter.

Selvom sigt dybden er blevet større, er vandet i Brabrand Sø dog fortsat uklart med mange alger.

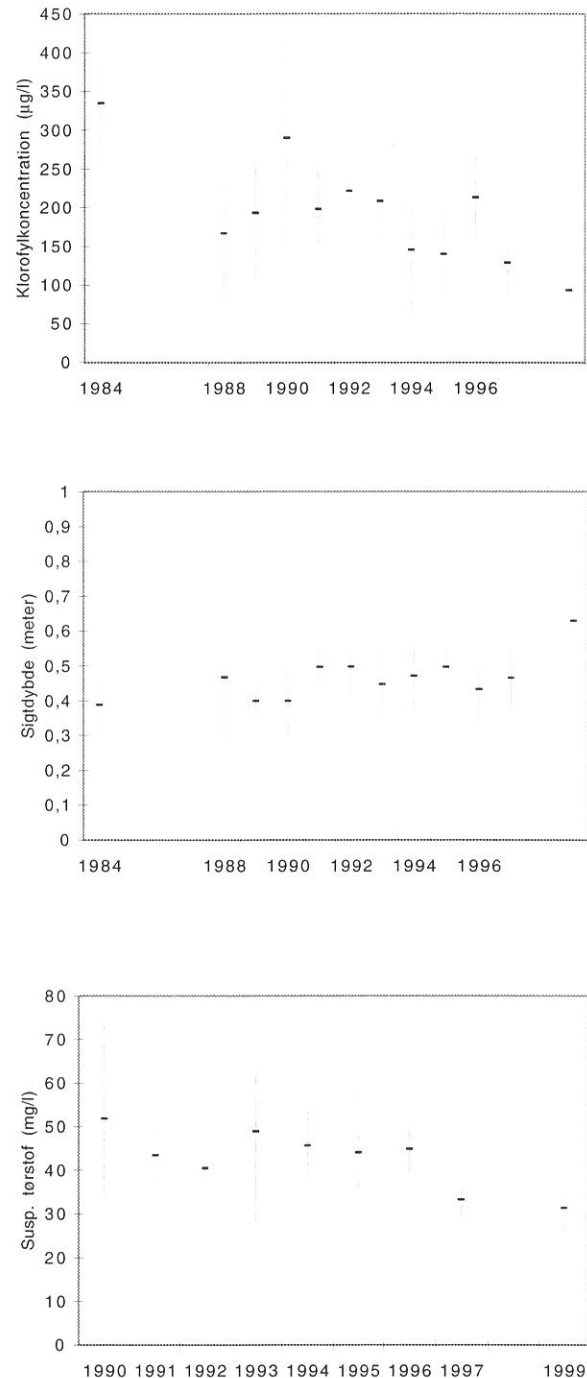
Suspenderet stof

Sammenhængen mellem sigt dybde og indholdet af suspenderet tørstof i Brabrand Sø er tidligere beskrevet (afsnittet om vandkemi).

Figur 28 - nederst viser udviklingen i koncentrationen af suspenderet tørstof fra 1990. Da Brabrand Sø er lavvandet, uden undervandsvegetation og ligger øst-vest orienteret, er ophvirvlingen af overfladesediment stor og indholdet af suspenderet tørstof influerer kraftigt på sigt dybden.

Som for mange andre parametre har der også været et signifikant fald ($p < 0,01$) i indholdet af suspenderet tørstof i Brabrand Sø i de sidste 10 år. Årsagen er ikke, at der er kommet planter i søen, som har en begrænsende effekt på ophvirvlingen, eller at det har blæst mindre i perioden, men snarere at algeproduktionen og dermed sedimenteringen af alger, der nemt hvirvles op i vandfasen, jævnt er blevet mindre.

Årsagen til den forbedrede sigt dybde i Brabrand Sø er altså dels et reduceret klorofylindhold men også en mindre resuspension.



Figur 28

Udviklingen i indholdet af klorofyl (øverst), i sigt dybden (i midten) og i indholdet af suspenderet tørstof (nederst) i måleårene fra 1984 til 1999 i Brabrand Sø med angivelse af sommergennemsnit samt 25 - og 75 % fraktiler (bemærk de forskellige måleperioder).

Det suspenderede glødetab er et mål for indholdet af organisk stof i søvandet. Da en væsentlig del af det ophvirvlede materiale i Brabrand Sø består af døde alger, er indholdet af organisk stof stort og parallelt med reduktionen i det suspenderede tørstof er der også sket en nedgang i indholdet af suspenderet glødetab i Brabrand Sø i de sidste 10 år (figur 29 øverst).

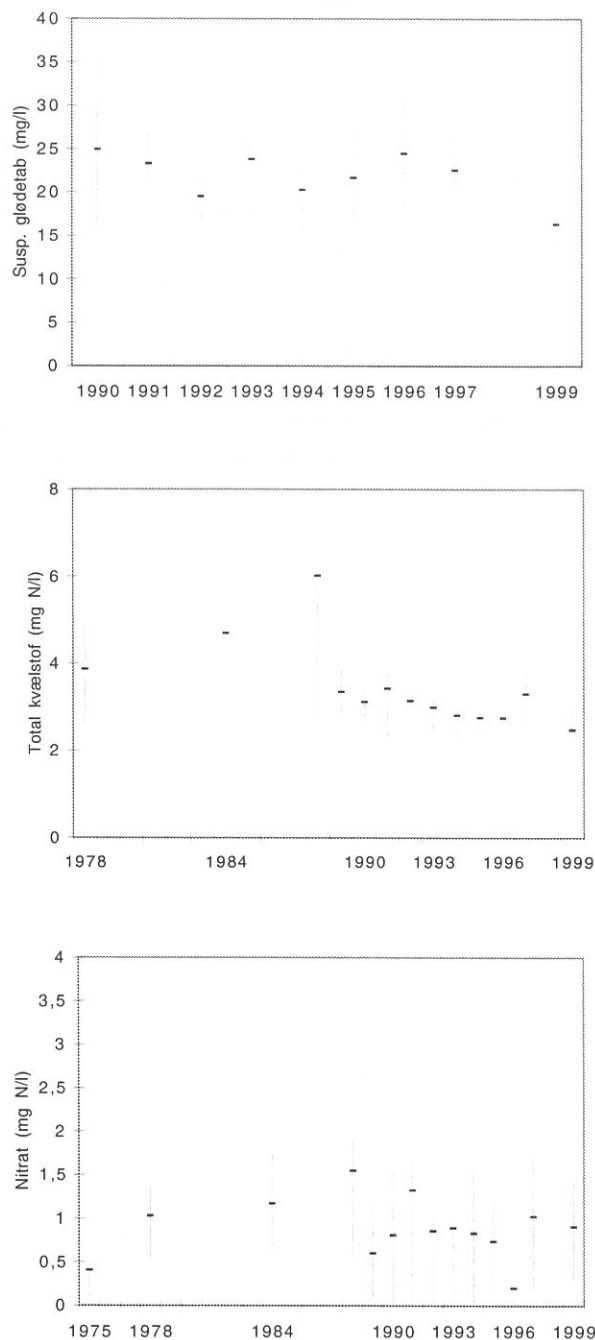
Kvælstof

Kvælstoftilførslerne til Brabrand Sø har ikke ændret sig i nogen entydig retning i de sidste 20 år, men varierer fra år til år afhængig af nedbør og afstrømning. Tilførslerne er størst i vinterhalvåret og ligeså er kvælstofkoncentrationen i søen.

I de senere år har der dog været en tendens til, at kvælstofniveauet er blevet mindre (figur 29 - i midten). Årsagen er en kombination af mindre kvælstoftilførsler og en effekt af de lavere fosforkoncentrationer og den mindre algeproduktion. En mindre algeproduktion medfører, at omsætningen i søen i nogen grad flyttes fra vandfase til sedimentoverflade. Herved forbedres iltforholdene på sedimentoverfladen, som medfører en større forskel på iltkoncentrationerne over - og i sedimentet. Muligheden for en effektiv kvælstoffjernelse stiger dermed.

Også nitratkoncentrationen i Brabrand Sø er nogenlunde uændret (figur 29 nederst). Sommergennemsnittet for nitrat var i 1999 ca. 0,9 mg N/l. Årsgennemsnittet var i 1999 ca. 3 mg N/l. Den store variation skyldes som nævnt primært en stor forskel i kvælstoftilførslerne til søen henover året.

Nitratkoncentrationen er i sommerhalvåret altså forholdsvis lav. I visse kortere perioder i tørre år med mindre kvælstoftilførsler end normalt kan tilgængeligheden af opløst kvælstof derfor være begrænsende for algernes vækst. En sådan situation har dog ikke været til stede i de to seneste måleår 1997 og 1999.



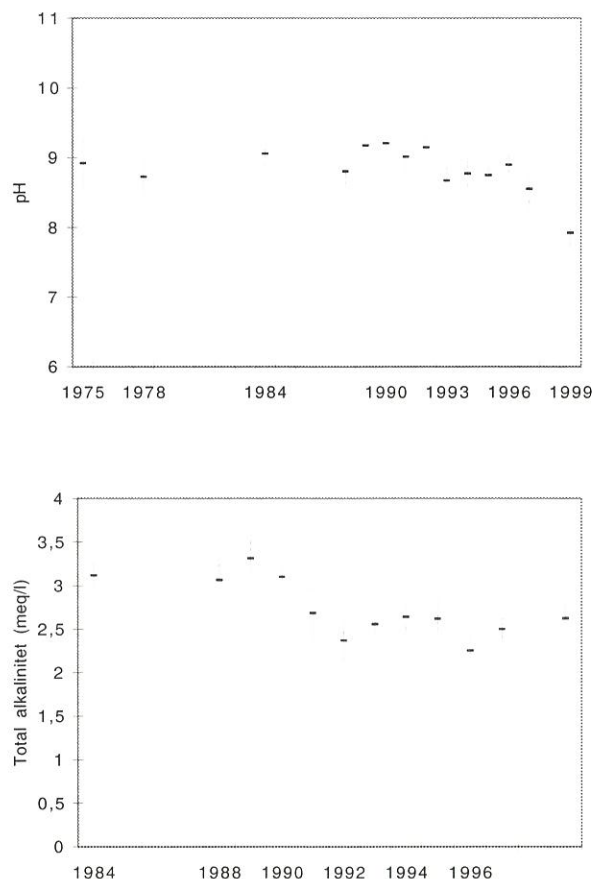
Figur 29

Udviklingen i indholdet af suspenderet glødetab (øverst), i koncentrationen af total kvælstof (i midten) og nitratkoncentrationen (nederst) i måleårene fra 1975 til 1999 i Brabrand Sø med angivelse af sommergennemsnit samt 25 - og 75 % fraktiler.

pH og total alkalinitet

Det er interessant at følge udviklingen i pH i Brabrand Sø i de senere år. Det er nævnt flere gange, at der har været en mindre produktion i søen i de senere år. Det reducerede niveau for pH-sommergennemsnittet er endnu en indikation herpå. Faktisk er den lavere pH nok det stærkeste udtryk for, at Brabrand Sø er på vej imod en mindre næringsrig tilstand med en væsentlig mindre produktion end tidligere (figur 30 øverst).

Figur 30 - nederst præsenterer udviklingen i total alkaliniteten i søen siden 1984. Efter et mindre fald i indholdet af opløste basisk reagerende stoffer i søen omkring 1990 har forholdene været nogenlunde stabile siden.



Figur 30

Udviklingen i pH (øverst) og total alkaliniteten (nederst) i måleårene fra 1975 til 1999 i Brabrand Sø med angivelse af sommergennemsnit samt 25 - og 75 % fraktiler.

Målsætning og fremtidige udsigter

Målsætning og Vandkvalitetsplan

Brabrand sø har en lempet (C) målsætning. Det betyder dog ikke, at der ikke er krav til tilstand og fosfortilførsel. I Vandkvalitetsplanen for Århus Amt er den ønskede fremtidige maksimale fosfortilførsel til søen opdelt på kilder (Århus Amt, 1997).

Renseanlæg	maks.	5,0 ton
Regnvandsbet. udledn.	maks.	2,0 ton
Spredt bebyggelse	maks.	0,8 ton
Dambrug	maks.	0,3 ton
Åben land	maks.	4,9 ton
Fosfortilførsel i alt	maks.	13 ton

Det er videre nævnt, at begrænsninger i den fremtidige fosfortilførsel skal opnåes gennem en indsats overfor alle kilder. Denne indsats skal omfatte:

- driftsoptimering på alle rensningsanlæg,
- etablering af forsinkelsesbassiner og indretning af disse til størst mulig fosforfjernelse fra de regnvandsbetingede udledninger,
- nedsivning af spildevandet fra den spredte bebyggelse,
- etablering af Årslev Engsø og andre tiltag såsom opretholdelse af lovpligtige 2 meter bræmmer til reduktion af fosforbidraget fra de dyrkede jorde.

Den samlede fosfortilførsel til Brabrand Sø var i 1997 11,3 ton og altså mindre end forudsat i Vandkvalitetsplanen. Bidragene fra såvel regnvandsbetingede udledninger som den spredte bebyggelse på henholdsvis 2,4 og 1,3 ton var dog større end målsat i Vandkvalitetsplanen.

Målsætningen for Brabrand Sø var derfor ikke opfyldt i 1997.

På grund af en betragtelig fosforfrigivelse fra sedimentet i sommermånederne er også fosforkoncentrationen fortsat højere end målsat, hvilket videre medfører, at sigtdybden i søen som et sommergennemsnit fortsat ikke er 0,8 - 1,0 meter, som målet er i Vandkvalitetsplanen.

Det skal her påpeges, at en væsentlig årsag til den beskedne totale fosfortilførsel i sammenligning med tidligere år var en relativ lille vandtilførsel til søen i 1997.

Den gennemsnitlige fosforkoncentration i indløbsvandet var således omkring 185 µg P/l og noget højere end de 150 µg P/l, som er målet i følge Vandkvalitetsplanen.

I Vandkvalitetsplanen er det videre noteret, at det ikke kan forventes, at Brabrand Sø kan opfylde sin målsætning før tidligst i år 2002.

Hvad fosfortilførslen angår, kan det forventes, at målsætningens maksimale tilførsel på 13 ton om året overholdes i de kommende år. Faktisk vil den samlede fosfortilførsel sandsynligvis yderligere reduceres i forhold til 1997-niveauet, da der i de kommende år vil ske en større eller mindre reduktion i fosfortilførslerne fra alle kilder.

Reduktioner i fosfortilførslen vil ske som følge af:

Viby rensningsanlæg er som nævnt afskåret fra søen i 1999 og den årlige fosforudledning herfra på 1 - 2 ton når således ikke længere søen.

Bidraget fra den spredte bebyggelse reduceres i årene, der kommer, ligesom også de regnvandsbetingede udledninger vil blive mindre gennem det arbejde, som allerede nu foregår i kommunerne.

Fosfortilførslen fra det åbne land vil blive mindre af flere årsager.

Gennem en reduceret fosfortilførsel til Stilling-Solbjerg Sø vil denne sø ad åre opnå en ligevægt med sine fosfortilførsler. Fosfortransporten ud af søen til Århus Å og Brabrand Sø vil dermed blive mindre.

Etablering af vådområder i forbindelse med vandløb i Brabrand Sø's opland kombineret med etablering af lovpligtige 2 meter bræmmer og andre tiltag i oplandet vil bidrage til en mindre stoftransport. Herunder vil realisering af Årslev Engsø umiddelbart opstrøms Brabrand Sø sørge for en vis stoftilbageholdelse. Det er i den forbindelse beregnet, at der vil ske en 10 - 20 % tilbageholdelse af såvel fosfor som kvælstof i Årslev Engsø.

Det er derfor realistisk at forvente, at den samlede fosfortilførsel på længere sigt bliver reduceret til maksimalt 9 - 10 ton om året ved en normal vandtilførsel. Dermed vil den gennemsnitlige indløbskoncentration også blive mindre end 150 µg P/l.

Forudsætninger vil da være til stede for en sigtdybde i

sommerhalvåret på 0,8 - 1 meter som et gennemsnit. Meget vil imidlertid afhænge af den biologiske struktur, som etableres i søen. I dag er søen som tidligere nævnt præget af en stor bestand af fredfisk, mange alger og ingen undervandsvegetation. Skal vandet blive mere klart, er det nødvendigt, at ligevægten mellem fredfisk og rovfisk rykkes til fordel for rovfiskene, at dyreplanktonets biomasse øges og at undervandsvegetation etableres i et vist omfang.

I den forbindelse kan det blive aktuelt at foretage en opfiskning af størstedelen af fredfiskene i søen og dermed hjælpe Brabrand sø til at ændre tilstanden fra den uklare sø til en mere klarvandet tilstand med rovfiskedominans og undervandsvegetation.

Her skal det dog understreges, at en sådan biomanipulation ikke kan komme på tale, før fosfortilførslerne er reduceret tilstrækkeligt og fosforfrigivelsen fra sedimentet stort set er ophørt.

Det skal endvidere erindres, som tidligere nævnt, at væsentlige ændringer i tilstanden i Brabrand Sø kræver en søkoncentration på ikke over 70 µg P/l som et sommergennemsnit. Dette kan kun nåes, hvis fosforkoncentrationen i indløbsvandet reduceres til et niveau omkring 100 µg P/l eller en samlet fosfortilførsel på 8 - 9 ton ved en normal vandtilførsel.

Årslev Engsø

Århus Amt arbejder i et samarbejde med Århus Kommune på at etablere Årslev Engsø på et 210 ha stort areal vest for Brabrand Sø. Projektet er omfattet af den såkaldte Vandmiljøplan II.

Projektet går ud på at føre Århus Å tilbage til sit gamle leje i en del af Århus Ådal. Ådalen er i flere omgange blevet drænet og jorden inddraget som landbrugsjord. Igennem årene har en del af de dræned arealer imidlertid "sat sig", således at dyrkningen er blevet mere besværlig og udbyttet reduceret.

En stor del af arealerne er nu lavere end det gamle åleje. Derfor vil der dannes en sø - Årslev Engsø - i området, når pumperne slukkes og vandstanden som følge heraf hæves i ådalen.

Det forventes, at Årslev Engsø vil komme til at bestå af ca. 70 ha våde enge, 70 ha rørskov og 70 ha åbent vandspejl, når Århus Å og Lyngbygårds Å bliver ført ud i ådalens bund.

Naturgenopretningen vil sikre en tilbageholdelse af kvælstof og fosfor, dels i søen men også fordi engene i

vinterhalvåret vil blive oversvømmede. Samtidigt skal projektet ses som middel til at øge naturindholdet i Århus Ådal betydeligt.

Brabrand Sø's fremtid som naturområde

Brabrand Sø er allerede i dag et vigtigt naturområde og har i kraft af den bynære beliggenhed en stor rekreativ værdi.

Blandt andet er fuglelivet omkring søen rigt. De dominerende ynglefugle er Toppet Lappedykker, Gråand, Grønbenet Rørhøne, Blishøns og Hættemåge, men også mere sjældne arter som Rørhøg, Vandrikse og Sorthalset lappedykker kan ses ved søen. Derudover fungerer søen som en vigtig rasteplass for fugle på træk. Dette gælder såvel vandfugle, der bliver tiltrukket af søens åbne vandflade (som f.eks. Toppet Lappedykker, Sangsvane, Stor Skallesluger og en række forskellige andearter), som fugle, der slår sig ned på engene i nærheden af søen (eksempelvis Vibe, Brushane, Dobbeltbekkasin, Engsnarre og Tinksmed).

Der er ingen tvivl om, at de naturmæssige forhold omkring Brabrand Sø vil blive forbedrede i årene fremover. I kraft af den store befolkningstæthed og den store aktivitet i oplandet kan det dog ikke forventes, at tilstanden i Brabrand Sø bliver, som den var "i gamle dage". Søen vil også fremover i et vist omfang være næringsrig og påvirket af de mange aktiviteter i oplandet.

Fiskesammensætningen vil ændre sig fra dominans af skalle og brasen til at aborre og gedde udgør en større andel af fiskene. Samtidig vil en reduktion i brasenbestanden sandsynligvis have en positiv effekt på mængden af ål i søen.

En forbedret tilstand i søen vil altså medføre, at fiskeriet bliver væsentligt mere attraktivt, end det er i dag.

Hvis det lykkes for undervandsvegetationen at etablere sig, vil artsrigdommen sandsynligvis ikke blive voldsom stor. De arter, der vil indfinde sig, er arter karakteristiske for næringsrige miljøer. En indvandring af undervandsvegetation vil uanset arter sikre væsentligt mere stabile forhold i søen.

En bedre tilstand i Brabrand Sø vil alt i alt forøge søens naturværdi.

En etablering af Årslev Engsø vil yderligere bidrage til at forøge hele området naturværdi. De dyr og fugle, som allerede findes i området, vil få forbedret deres

Målsætning og fremtidige udsigter

Målsætning og Vandkvalitetsplan

Brabrand sø har en lempet (C) målsætning. Det betyder dog ikke, at der ikke er krav til tilstand og fosfortilførsel. I Vandkvalitetsplanen for Århus Amt er den ønskede fremtidige maksimale fosfortilførsel til søen opdelt på kilder (Århus Amt, 1997).

Renseanlæg	maks.	5,0 ton
Regnvandsbet. udledn.	maks.	2,0 ton
Spredt bebyggelse	maks.	0,8 ton
Dambrug	maks.	0,3 ton
Åben land	maks.	4,9 ton
Fosfortilførsel i alt	maks.	13 ton

Det er videre nævnt, at begrænsninger i den fremtidige fosfortilførsel skal opnåes gennem en indsats overfor alle kilder. Denne indsats skal omfatte :

- driftsoptimering på alle rensningsanlæg,
- etablering af forsinkelsesbassiner og indretning af disse til størst mulig fosforfjernelse fra de regnvandsbetingede udledninger,
- nedsivning af spildevandet fra den spredte bebyggelse,
- etablering af Årslev Engsø og andre tiltag så som opretholdelse af lovpligtige 2 meter bræmmer til reduktion af fosforbidraget fra de dyrkede jorde.

Den samlede fosfortilførsel til Brabrand Sø var i 1997 11,3 ton og altså mindre end forudsat i Vandkvalitetsplanen. Bidragene fra såvel regnvandsbetingede udledninger som den spredte bebyggelse på henholdsvis 2,4 og 1,3 ton var dog større end målsat i Vandkvalitetsplanen.

Målsætningen for Brabrand Sø var derfor ikke opfyldt i 1997.

På grund af en betragtelig fosforfrigivelse fra sedimentet i sommermånederne er også fosforkoncentrationen fortsat højere end målsat, hvilket videre medfører, at sigtddyben i søen som et sommergennemsnit fortsat ikke er 0,8 - 1,0 meter, som målet er i Vandkvalitetsplanen.

Det skal her påpeges, at en væsentlig årsag til den beskedne totale fosfortilførsel i sammenligning med tidligere år var en relativ lille vandtilførsel til søen i 1997.

Den gennemsnitlige fosforkoncentration i indløbsvandet var således omkring 185 µg P/l og noget højere end de 150 µg P/l, som er målet i følge Vandkvalitetsplanen.

I Vandkvalitetsplanen er det videre noteret, at det ikke kan forventes, at Brabrand Sø kan opfylde sin målsætning før tidligst i år 2002.

Hvad fosfortilførslen angår, kan det forventes, at målsætningens maksimale tilførsel på 13 ton om året overholdes i de kommende år. Faktisk vil den samlede fosfortilførsel sandsynligvis yderligere reduceres i forhold til 1997-niveauet, da der i de kommende år vil ske en større eller mindre reduktion i fosfortilførslerne fra alle kilder.

Reduktioner i fosfortilførslen vil ske som følge af :

Viby rensningsanlæg er som nævnt afskåret fra søen i 1999 og den årlige fosforudledning herfra på 1 - 2 ton når således ikke længere søen.

Bidraget fra den spredte bebyggelse reduceres i årene, der kommer, ligesom også de regnvandsbetingede udledninger vil blive mindre gennem det arbejde, som allerede nu foregår i kommunerne.

Fosfortilførslen fra det åbne land vil blive mindre af flere årsager.

Gennem en reduceret fosfortilførsel til Stilling-Solbjerg Sø vil denne sø ad åre opnå en ligevægt med sine fosfortilførsler. Fosfortransporten ud af søen til Århus Å og Brabrand Sø vil dermed blive mindre.

Etablering af vådområder i forbindelse med vandløb i Brabrand Sø's opland kombineret med etablering af de lovpligtige 2 meter bræmmer og andre tiltag i oplandet vil bidrage til en mindre stoftransport. Herunder vil realisering af Årslev Engsø umiddelbart opstrøms Brabrand Sø sørge for en vis stoftilbageholdelse. Det er i den forbindelse beregnet, at der vil ske en 10 - 20 % tilbageholdelse af såvel fosfor som kvælstof i Årslev Engsø.

Det er derfor realistisk at forvente, at den samlede fosfortilførsel på længere sigt bliver reduceret til maksimalt 9 - 10 ton om året ved en normal vandtilførsel. Dermed vil den gennemsnitlige indløbskoncentration også blive mindre end 150 µg P/l.

Forudsætninger vil da være til stede for en sigtddybe i

sommerhalvåret på 0,8 - 1 meter som et gennemsnit. Meget vil imidlertid afhænge af den biologiske struktur, som etableres i søen. I dag er søen som tidligere nævnt præget af en stor bestand af fredfisk, mange alger og ingen undervandsvegetation. Skal vandet blive mere klart, er det nødvendigt, at ligevægten mellem fredfisk og rovfisk rykkes til fordel for rovfiskene, at dyreplanktonets biomasse øges og at undervandsvegetation etableres i et vist omfang.

I den forbindelse kan det blive aktuelt at foretage en opfiskning af størstedelen af fredfiskene i søen og dermed hjælpe Brabrand sø til at ændre tilstanden fra den uklare sø til en mere klarvandet tilstand med rovfiskedominans og undervandsvegetation.

Her skal det dog understeges, at en sådan biomanipulation ikke kan komme på tale, før fosfortilførslerne er reduceret tilstrækkeligt og fosforfrigivelsen fra sedimentet stort set er ophørt.

Det skal endvidere erindres, som tidligere nævnt, at væsentlige ændringer i tilstanden i Brabrand Sø kræver en søkoncentration på ikke over 70 µg P/l som et sommergennemsnit. Dette kan kun nåes, hvis fosforkoncentrationen i indløbsvandet reduceres til et niveau omkring 100 µg P/l eller en samlet fosfortilførsel på 8 - 9 ton ved en normal vandtilførsel.

Årslev Engsø

Århus Amt arbejder i et samarbejde med Århus Kommune på at etablere Årslev Engsø på et 210 ha stort areal vest for Brabrand Sø. Projektet er omfattet af den såkaldte Vandmiljøplan II.

Projektet går ud på at føre Århus Å tilbage til sit gamle leje i en del af Århus Ådal. Ådalen er i flere omgange blevet drænet og jorden inddraget som landbrugsjord. Igennem årene har en del af de drænedes arealer imidlertid "sat sig", således at dyrkningen er blevet mere besværlig og udbyttet reduceret.

En stor del af arealerne er nu lavere end det gamle åleje. Derfor vil der dannes en sø - Årslev Engsø - i området, når pumperne slukkes og vandstanden som følge heraf hæves i ådalen.

Det forventes, at Årslev Engsø vil komme til at bestå af ca. 70 ha våde enge, 70 ha rørskov og 70 ha åbent vandspejl, når Århus Å og Lyngbygårds Å bliver ført ud i ådalens bund.

Naturgenopretningen vil sikre en tilbageholdelse af kvælstof og fosfor, dels i søen men også fordi engene i

vinterhalvåret vil blive oversvømmede. Samtidigt skal projektet ses som middel til at øge naturindholdet i Århus Ådal betydeligt.

Brabrand Sø's fremtid som naturområde

Brabrand Sø er allerede i dag et vigtigt naturområde og har i kraft af den bynære beliggenhed en stor rekreativ værdi.

Blandt andet er fuglelivet omkring søen rigt. De dominerende ynglefugle er Toppet Lappedykker, Gråand, Grønbenet Rørhøne, Blishøns og Hættemåge, men også mere sjældne arter som Rørhøg, Vandrikse og Sorthalset lappedykker kan ses ved søen. Derudover fungerer søen som en vigtig rasteplads for fugle på træk. Dette gælder såvel vandfugle, der bliver tiltrukket af søens åbne vandflade (som f.eks. Toppet Lappedykker, Sangsvane, Stor Skallesluger og en række forskellige andearter), som fugle, der slår sig ned på engene i nærheden af søen (eksempelvis Vibe, Brushane, Dobbeltbekkasin, Engsnarre og Tinksmed).

Der er ingen tvivl om, at de naturmæssige forhold omkring Brabrand Sø vil blive forbedrede i årene fremover. I kraft af den store befolkningstæthed og den store aktivitet i oplandet kan det dog ikke forventes, at tilstanden i Brabrand Sø bliver, som den var "i gamle dage". Søen vil også fremover i et vist omfang være næringsrig og påvirket af de mange aktiviteter i oplandet.

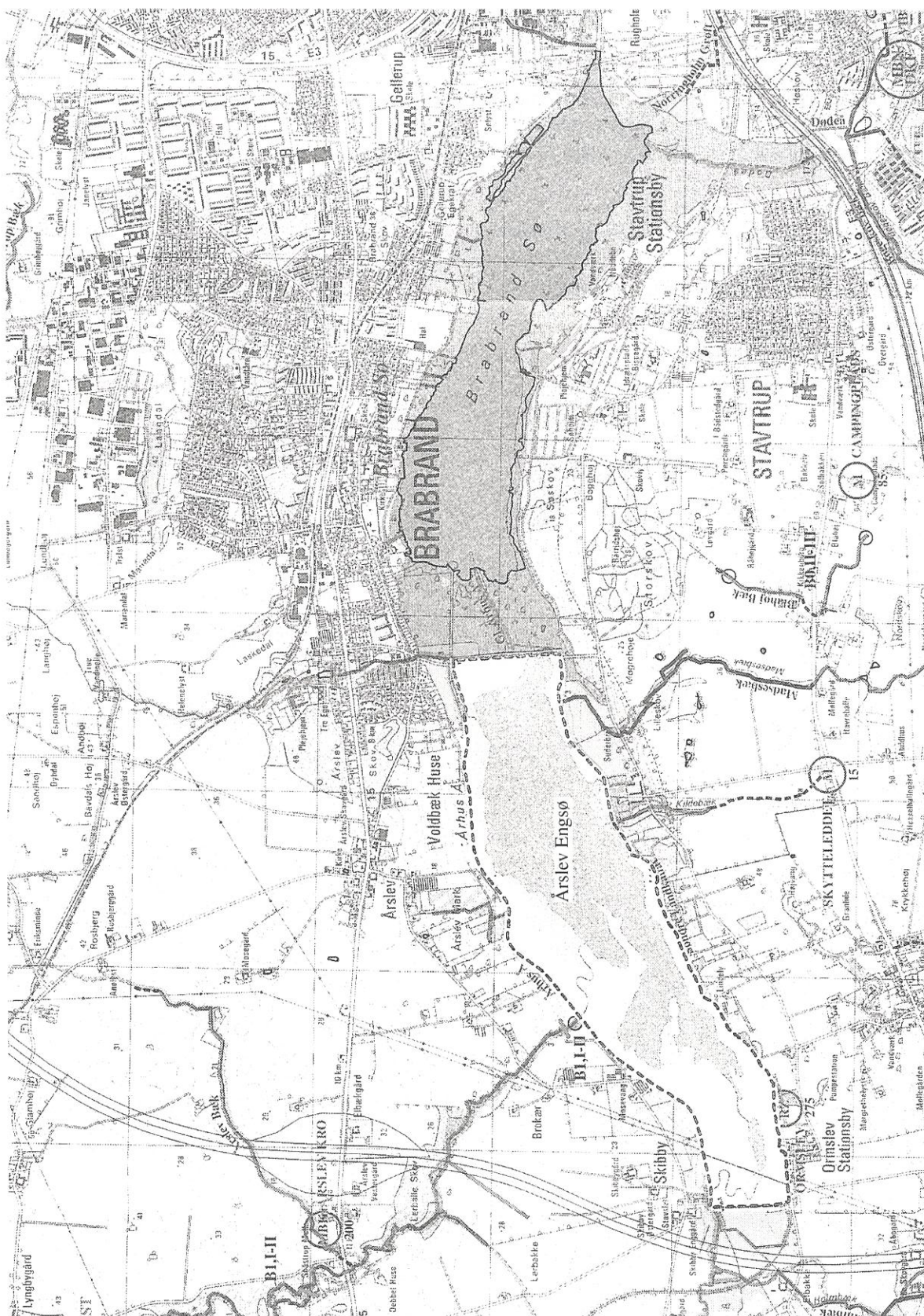
Fiskesammensætningen vil ændre sig fra dominans af skalle og brasen til at aborre og gedde udgør en større andel af fiskene. Samtidig vil en reduktion i brasenbestanden sandsynligvis have en positiv effekt på mængden af ål i søen.

En forbedret tilstand i søen vil altså medføre, at fiskeriet bliver væsentligt mere attraktivt, end det er i dag.

Hvis det lykkes for undervandsvegetationen at etablere sig, vil artsrigdommen sandsynligvis ikke blive voldsomt stor. De arter, der vil indfinde sig, er arter karakteristiske for næringsrige miljøer. En indvandring af undervandsvegetation vil uanset arter sikre væsentligt mere stabile forhold i søen.

En bedre tilstand i Brabrand Sø vil alt i alt forøge søens naturværdi.

En etablering af Årslev Engsø vil yderligere bidrage til at forøge hele området naturværdi. De dyr og fugle, som allerede findes i området, vil få forbedret deres



Figur 31
Kort over Brabrand Sø og den kommende Årslev Eng sø.

levevilkår væsentligt, men samtidigt vil den betragtelige udvidelse af området gøre det muligt for nye arter som f.eks Skægmejse og Rørdrum og måske endda Odder at slå sig ned her.

De ekstensivt drevne enge vil endvidere forbedre muligheden for en mere varieret flora i området i forhold til den forholdsvis ensartede vegetation, som i dag er fremherskende.

Alt i alt vurderes det derfor, at en klarvandet Brabrand Sø sammen med Årslev Engsø vil forøge områdets naturindhold og -værdi til et niveau af stor regional interesse.

Referencer

- Andersen, J.M. (1974) : Nitrogen and phosphorus budgets and the role of sediments in six shallow Danish lakes. - Arch Hydrobiol. 74, 528-50.
- Andersen, J.M. (1975) : Influence of pH on the release of phosphorus from lake sediments. Arch. Hydrobiol. 76, 411-19.
- Baagøe, J. og Kølpin Ravn, F. (1895) : Ekskursion til jydsk søer og vandløb i sommeren 1895. Dansk Botanisk Tidsskrift, bd. 20 : pp 291 - 296.
- Færgemann, H & Petersen, A (1992) : Dynamisk stofbalancemodel for kvælstofkredsløbet i søer. DTH. Laboratoriet for Økologi og Miljølære.
- Hansen, A.-M., E. Jeppesen, S. Bosselmann og P. Andersen (1990) : Zooplanktonundersøgelser i søer - metoder: Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøstyrelsen, 1990.
- Jacobsen, J.P. (1999) : Ændring i dominansforholdet mellem Chlorophyceae og Cyanophyceae ved nedsatte næringsstofkoncentrationer, med Case-study i Brabrand Sø. Biologisk Projektarbejde, Århus Universitet, 1999.
- Jacobsen, O.S. (1977) : Sorption of phosphate by Danish lake sediments. - Vatten 33, 290-98.
- Jensen, H.S. & Andersen F.Ø. (1990) : Fosforbelastning i lavvandede, eutrofe søer. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, C4. 96 pp.
- Jensen, J.P., E. Jeppesen, M. Søndergaard, J. Windolf, T.L.Lauridsen, L. Sortkjær (1995) : Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 139.
- Jensen, J.P., E. Jeppesen, M. Søndergaard, T.L.Lauridsen, L. Sortkjær (1998) : Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 251.
- Jeppesen, E., E. Mortensen, M. Søndergaard, A.M. Hansen og J.P. Jensen (1991) : Dyreplanktonet som miljøindikator. Vand og Miljø 8: 394-398.
- Jeppesen, E. et al. (1998) : Cascading Trophic Interactions from Fish to Bacteria and Nutrients after Reduced Sewage Loading : An 18 Year Study of a Shallow Hypertrophic Lake. Ecosystems 1 : pp. 250 - 267.
- Kristensen, P. et al. (1990a) : Ferske vandområder - vandløb, kilder og søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser, 1990. 130 pp. - Faglig rapport fra Kristensen et al. nr 5.
- Kristensen, P. et al. (1990b) : Prøvetagning og analysemetoder i søer - teknisk anvisning: Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser, 1990: 27 sider.
- Kristensen, P., J.P. Jensen og E. Jeppesen (1990c) : Slutrapport for NPo-forskningsprojekt C9: Eutrofieringsmodeller for søer. NPo-projekt 4.5. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen: 120 sider.
- Kristensen, P. et al. (1991): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1990. Danmarks Miljøundersøgelser, 1991. 104 sider + bilag. Faglig rapport nr. 38.
- Lauridsen, T.L., Jensen, J.P., Berg, S., Michelsen, K., Rugård, T., Schriver, P., Rasmussen, A.C. (1998) : Fiskeyngelundersøgelser i søer. Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk anvisning fra DMU.
- Olrik, K. (1990) : Planteplanktonsamfund i danske søer.
- Olrik, K. (1991) : Vejledning i phytoplanktonbedømmelse, del I, Metoder. Rapport til Miljøstyrelsen.
- Rebsdorf, Aa., M. Søndergaard og N. Thyssen (1988) : Overvågningsprogram. Vand- og sedimentanalyser i ferskvand. Særlige kemiske analyse- og beregningsmetoder. - Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium 1988: 59 sider. Teknisk rapport nr. 21. Publ. nr. 98.
- Reynolds, C.S. (1984) : The ecology of freshwater phytoplankton.
- Rosen, Göran (1981) : Tusen sjöar, Växtplanktons miljökrav.

Søndergaard M., Jeppesen E., Jensen J.P., Lauridsen T., Müller J.P., Jensen H.J., Berg S., Hvidt C. (1998) : Sørestaurering i Danmark. Metoder, erfaringer og anbefalinger. Miljønyt nr. 28, 1998. Miljøstyrelsen.

Vollenweider, R.A. (1976) : Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33 :53 - 83.

Windolf, J. E. Jeppesen, M. Søndergård, J.P. Jensen, L. Sortkjær : Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1992. Faglig rapport fra DMU, nr. 90.

Århus Amt (1979) : Århus Å. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1985) : Betænkning vedrørende Brabrand Sø. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1987) : Brabrand Sø 1984. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt og Århus Kommune (1987) : Brabrand Sø 1986. Sedimentkarakteristik. Fosforudvekslingsforhold. Effekt af forskellige grader af sedimentfjernelse på eutrofieringsforholdene. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt og Århus Kommune (1987) : Brabrand Sø 1986. Tungmetaller i sedimentet. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt og Århus Kommune (1987) : Brabrand Sø 1986. Bundforhold, grundvand, sedimentdeponering, oppumpningsteknik. økonomi og information. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt og Århus Kommune (1987) : Brabrand Sø 1986. Restaureringens betydning for fuglelivet. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt og Århus Kommune (1987) : Brabrand Sø 1986. Sedimenttilførsel med vandløb. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt og Århus Kommune (1987) : Brabrand Sø 1986. Samlerapport. Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1994) : Brabrand Sø - tilstand og udvikling. Notat fra Natur- og Miljøkontoret, Århus Amt.

Århus Amt (1997) Vandkvalitetsplanen for Århus Amt. Natur- og Miljøkontoret, Århus Amt.

Bilagsoversigt

- | | |
|-----------------|--|
| Bilag 1. | Massebalance for Brabrand Sø i 1997. |
| Bilag 2. | Sommergennemsnit for parametre målt i overfladevandet fra 1988 til 1999 |
| Bilag 3. | Alger - rådata |
| Bilag 4. | Sedimentanalyser |

	Tørstof %	Glødetab % af tørstof	Kvælstof g/kg tørstof	Fosfor g/kg tørstof	Calcium g/kg tørstof	Jern g/kg tørstof
vest						
0 - 5 cm	14,80	15,10	8,18	2,30	150	33
5 -10 cm	17,30	14,80	8,30	2,01	150	33
10 - 15 cm	19,50	14,50	8,17	1,50	150	36
15 - 25 cm	26,70	10,20	5,40	0,92	200	29
midt						
0 - 5 cm	16,90	11,70	6,97	2,00	170	23
5 -10 cm	20,30	11,80	7,09	1,22	170	22
10 - 15 cm	23,10	12,10	6,98	1,29	190	30
15 - 25 cm	25,50	12,20	6,71		160	30
øst						
0 - 5 cm	14,10	13,70	8,47	1,68	200	25
5 -10 cm	17,00	13,60	8,42	1,48	200	25
10 - 15 cm	18,50	14,00	8,77	1,17	170	21
15 - 25 cm	20,40	13,60	8,17	1,06	150	21

Sedimentanalyserne fra Brabrand Sø i 1999 for de fire dybdeintervaller : 0 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10 - 15 cm og 15 - 25 cm fra henholdsvis øst- midt- og veststationerne i søen.

SØ-VAKS, Sø-modul

Sø: Brabrand Sø

År: 1997

VANDBALANCE

Side : 1

Udskrevet: 19/08/1999

År : TJ

Parameter:

Enhed.....: 1000 m3

Kilde	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December	Sommer	År
110072	1137.6	3753.0	3010.3	1823.7	2064.1	1507.6	1257.9	1364.9	1141.5	1884.7	1447.5	2192.0	7336.0	22584.6
110155	1018.5	4634.3	2637.5	1587.8	1795.2	1248.3	1056.8	929.1	776.0	1441.0	1302.3	2598.9	5805.6	21025.9
Målt tilføjet	2156.1	8387.3	5647.8	3411.4	3859.3	2755.9	2314.8	2294.0	1917.6	3325.7	2749.7	4790.9	13141.5	43610.5
Udalt opland	527.9	2036.7	1383.6	835.9	945.6	676.1	567.7	565.6	472.8	817.6	673.2	1164.6	3227.8	10667.2
Regnvandsoverløb	133.9	121.0	133.9	129.6	133.9	129.6	133.9	133.9	129.6	133.9	129.6	133.9	661.0	1576.8
Viby renseanlæg	444.6	401.6	444.6	430.3	444.6	430.3	444.6	444.6	430.3	444.6	430.3	444.6	2194.4	5235.0
Samlet tilførsel	3262.6	10946.5	7609.9	4807.2	5383.5	3991.9	3461.0	3438.1	2950.2	4721.8	3982.8	6534.0	19224.7	61089.4
110344	3516.8	10395.5	7430.9	4888.5	5426.0	4153.6	3694.6	3671.3	3213.9	4827.9	4146.8	6470.3	20159.5	61836.1
Samlet fraførsel	3516.8	10395.5	7430.9	4888.5	5426.0	4153.6	3694.6	3671.3	3213.9	4827.9	4146.8	6470.3	20159.5	61836.1
Volumen ændring	0.0	0.0	-34.8	-84.0	-120.9	18.9	-28.3	25.0	25.7	37.4	66.6	17.8	-79.5	-76.5
Vandbalance	254.2	-551.0	-213.8	-2.7	-78.4	180.7	205.3	258.2	289.4	143.5	230.6	-45.9	855.2	670.1

SØ-VAKS, Sø-modul

STOFBALANCE

Side : 2

Sø: Brabrand Sø

Parameter: 1211 Total-N

Udskrevet: 19/08/1999

År: 1997

Enhed.....: Kg

År : TJ

Kilde	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December	Sommer	År
110072	5235.5	21875.0	16863.0	8037.5	7516.8	4478.2	3213.9	4012.7	3696.1	9607.4	5912.7	13756.6	22917.6	104205.3
110155	5166.0	39428.0	23934.2	8574.0	8892.8	4577.7	3376.0	3017.6	2843.8	7097.3	6072.7	22706.3	22708.0	135686.4
Målt tilføjet	10401.5	61302.9	40797.3	16611.4	16409.6	9055.9	6589.9	7030.3	6539.9	16704.6	11985.4	36462.9	45625.7	239891.7
Umløst opland	2529.9	9973.9	7314.4	3535.8	4237.8	2415.0	1441.4	1882.8	1261.9	1666.9	2510.1	5714.2	11238.8	44483.8
Atm. deposition	259.9	234.7	259.9	251.5	259.9	251.5	259.9	259.9	251.5	259.9	251.5	259.9	1282.7	3060.0
Regnvandsoverløb	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	2500.0	6000.0
Viby rensningsanlæg	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	14130.0	33912.0
Kendt grundvand	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Stofbalance	1016.8	0.0	0.0	0.0	0.0	722.7	821.4	1032.9	1157.4	574.0	922.3	3734.4	3734.4	6247.6
Samlet tilførsel	17534.1	74837.6	51697.5	23724.7	24233.3	15771.1	12438.5	13531.9	12536.7	22531.4	18995.2	45763.0	78511.6	333595.1
110344	16573.5	49627.5	37550.2	18029.3	15417.9	10469.4	9362.9	13612.3	8923.0	9180.3	13193.8	26569.6	57785.5	228509.7
Stofbalance	2659.9	1075.0	11.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	317.5	4281.6
Samlet fraførsel	16573.5	52287.4	38625.2	18040.8	15735.4	10469.4	9362.9	13612.3	8923.0	9180.3	13193.8	26787.2	58103.0	232791.3
Magasinændring	464.3	1300.0	-667.5	-2688.1	814.2	-3044.9	136.2	463.0	-2384.2	2115.8	3527.8	940.7	-4015.6	977.4
Søbalance	-960.6	-22550.2	-13072.3	-5683.9	-8487.9	-5301.7	-3075.7	80.4	-1613.7	-13351.1	-5801.5	-18975.7	-20408.5	-100803.8
Søbalance %	5.6	-31.1	-25.3	-24.0	-24.7	-24.7	-24.7	0.6	-23.8	-14.3	-23.79	-12.40	-113.34	-352.8
Søbalance -g/m2	-0.63	-14.74	-8.54	-3.71	-5.55	-3.47	-2.01	0.05	-2.36	-1.873	-3.79	-1.20	-13.34	-55.88
Sedimentbalance	-496.4	-21250.2	-13739.7	-8372.0	-7683.7	-8346.6	-2939.4	543.5	-5998.0	-11235.3	-2273.6	-18035.0	-24424.2	-99826.4
Sedimentbalance %	-2.8	-28.4	-26.6	-35.3	-31.7	-52.9	-23.6	4.0	-47.8	-49.9	-12.0	-39.4	-152.1	-346.4
Sedimentbalance -g/m2	-0.32	-13.89	-8.98	-5.47	-5.02	-5.46	-1.92	0.36	-3.92	-7.34	-1.49	-11.79	-15.96	-65.24

SØ-VAKS, Sø-modul

Side : 3

Sø: Brabrand Sø

Udskrevet: 19/08/1999

År: 1997

Af : TJ

DATAGRUNDLAG

Parameter: 1211 Total-N

Enhed.....:

Searaal.....: 1.53 km2 Søvolumen.....: 2000000 m3 Umålt opland: 30.45 km2 Atmosfærisk deposition: 20.00 kg/ha/år
 Indløb: 110072 (118.6 km2) , 110155 (131.5 km2) ,
 Udlob.: 110344 ,

Kilde	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
Nedbør (mm)	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0
Fordampning (l/s)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Vandtilf. fra regnvandsoverløb (l/s)	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0	2826.0
Vandtilf. fra grundvand (l/s)	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0
Stoftilf. fra Viby rensningsanlæg (kg)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Stoftilf. fra Regnvandsoverløb (mg/l)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Koncentr. til vandbalance												

Dato	Vandst. (m)	Dato	Konc. (mg/l)
19/03/1997	0.58	22/01/1997	4.27
28/04/1997	0.51	19/03/1997	5.57
18/06/1997	0.38	28/04/1997	3.52
16/07/1997	0.50	22/05/1997	4.91
14/08/1997	0.35	18/06/1997	3.56
11/09/1997	0.48	16/07/1997	2.03
08/10/1997	0.44	14/08/1997	3.74
05/12/1997	0.53	11/09/1997	2.83
		08/10/1997	1.58
		09/12/1997	4.56

Kilde	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December	Sommer	År
I10072	182.7	654.5	382.2	202.0	278.7	237.3	239.0	258.0	206.7	258.2	194.9	283.8	1249.7	3408.0
I10155	158.9	978.3	257.1	152.7	169.1	232.9	238.2	171.7	159.6	242.0	140.8	342.8	971.5	3244.1
Målt tilføjet	341.6	1632.8	639.3	354.7	447.8	500.1	477.2	429.7	366.3	500.2	335.7	626.6	2221.2	6652.1
Umålt opland	58.9	253.7	186.2	120.7	190.1	220.3	187.1	182.8	97.8	105.5	72.4	108.9	878.1	1784.4
Atm. deposition	2.6	2.3	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	12.8	30.6
Regnvandsoverløb	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	555.0	130.0
Viby rensningsanlæg	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	655.0	1576.0
Kendt grundvand	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Stofbalance	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	10.3	12.9	14.5	7.2	11.5	0.0	46.7	78.1
Samlet tilførsel	646.8	2119.8	1059.1	708.9	871.5	963.0	908.2	859.1	712.1	846.5	653.1	969.1	4313.8	11317.2
I10344	376.4	999.9	626.5	503.1	1176.2	1344.5	1553.2	1604.0	969.9	769.1	460.7	513.4	6647.7	10896.8
Stofbalance	67.9	28.8	0.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
Samlet fraførsel	376.4	1067.8	655.4	503.5	1192.5	1344.5	1553.2	1604.0	969.9	769.1	460.7	517.8	6664.1	11014.7
Magasinændring	8.6	24.0	17.7	16.0	170.5	150.2	3.3	-158.1	-224.8	-67.5	-35.4	-9.4	-58.8	-104.8
Sebalance	-270.5	-1052.0	-403.7	-205.4	321.0	391.5	645.0	745.0	257.8	-77.4	-192.4	-451.3	2350.3	-302.4
Sebalance -%	-41.8	-49.6	-38.1	-29.0	36.8	39.6	71.0	86.7	36.2	-9.1	-29.5	-46.6	270.5	-26.1
Sebalance -g/m2	-0.18	-0.69	-0.26	-0.13	0.21	0.25	0.42	0.49	0.17	-0.05	-0.13	-0.23	1.54	-0.19
Sedimentbalance	-261.9	-1028.0	-386.0	-189.2	491.6	531.8	648.3	586.9	33.0	-144.9	-227.8	-460.8	2291.5	-407.2
Sedimentbalance -%	-40.1	-48.1	-36.5	-27.7	56.4	55.2	71.4	68.3	4.6	-17.1	-34.9	-47.6	256.0	4.3
Sedimentbalance -g/m2	-0.17	-0.67	-0.25	-0.12	0.32	0.35	0.42	0.38	0.02	-0.09	-0.15	-0.30	1.49	-0.26

SØ-VAKS, Sø-modul

Side : 3

Sø: Brabrand Sø

Parameter: 1376 Total-P

Udskrevet: 27/08/1999

År: 1997

AF : TJ

Enhed.....:

Særeal.....: 1.53 km2 Sevolumen.....: 2000000 m3 Umålt opland: 30.45 km2 Atmosfærisk deposition: 0.20 kg/ha/år
 Indløb: 110072 (118.6 km2) , 110155 (131.5 km2) ,
 Udløb.: 110344 ,

Kilde	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
Nedbør	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0	166.0
Fordampning	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Vandtilf. fra Viby rensningsanlæg (mm)	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0
Vandtilf. fra Regnvandsoverløb (l/s)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Vandtilf. fra Grundvand (l/s)	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Stoftilf. fra Viby rensningsanlæg (kg)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Stoftilf. fra Regnvandsoverløb (kg)	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0	131.0
Stoftilf. fra Grundvand (kg/l)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Koncentr. til vandbalance (kg/l)	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

Dato	Vandst. (m)	Dato	Konc. (µg/l)
19/03/1997	0.58	22/01/1997	113.00
28/04/1997	0.53	19/03/1997	137.00
18/06/1997	0.38	28/04/1997	148.00
16/07/1997	0.50	22/05/1997	207.00
14/08/1997	0.35	18/06/1997	358.00
11/09/1997	0.48	16/07/1997	314.00
08/10/1997	0.44	14/08/1997	370.00
09/12/1997	0.53	11/09/1997	207.00
		08/10/1997	133.00
		09/12/1997	93.00

Station : 110903
 Navn : Brabrand Sø
 Lokalitet : (BRA3) - Vestbassin midt
 Udtræksdybde : 0.00 - 2.00

Parameter og enhed	25% F. Tidsv.	Median Tidsv.	75% F. Tidsv.	Gennemsnit Tidsv.	Stand.afv. Tidsv.	Antal
Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1988						
Part. COD (mg/l)	14.014	19.315	22.843	19.052	4.851	7
Klorofyl (mikro.g/l)	75.500	204.143	225.321	166.752	71.118	6
Sigtdybde (meter)	0.282	0.361	0.482	0.467	0.276	6
Total Alk. (mækv/l)	3.110	3.218	3.322	3.066	0.441	6
NH3+4-N f. (mg/l)	0.011	0.047	0.212	0.131	0.167	6
NO2+3-N f. (mg/l)	0.554	1.518	1.900	1.551	1.186	6
Total-N (mg/l)	2.707	3.408	4.186	6.016	5.916	6
Ortho-P f. (mikro.g/l)	308.815	325.714	355.179	334.093	38.774	6
Total-P (mikro.g/l)	697.643	804.786	903.786	797.396	120.618	6
Silicium f (mg/l)	2.610	3.293	4.387	3.505	1.250	6
pH (pH)	8.569	8.822	8.996	8.801	0.294	6
Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1989						
Part. COD (mg/l)	24.062	31.000	38.184	32.393	10.604	10
Klorofyl (mikro.g/l)	107.000	189.211	258.533	193.145	97.190	10
Sigtdybde (meter)	0.344	0.415	0.447	0.400	0.059	10
Total Alk. (mækv/l)	3.160	3.420	3.614	3.311	0.412	10
NH3+4-N f. (mg/l)	0.008	0.019	0.147	0.107	0.163	10
NO2+3-N f. (mg/l)	0.078	0.394	1.160	0.602	0.564	10
Total-N (mg/l)	2.806	3.129	3.870	3.347	0.790	10
Ortho-P f. (mikro.g/l)	241.000	296.000	413.846	316.945	150.692	10
Total-P (mikro.g/l)	746.579	966.000	1148.250	923.797	234.185	10
Silicium f (mg/l)	0.486	0.926	2.766	1.626	1.387	10
pH (pH)	8.838	9.250	9.532	9.173	0.423	10
Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1990						
Part. COD (mg/l)	15.179	26.400	42.767	28.585	13.297	11
Klorofyl (mikro.g/l)	143.000	346.000	420.000	289.933	142.659	11
Sigtdybde (meter)	0.300	0.430	0.489	0.400	0.127	11
Total Alk. (mækv/l)	3.034	3.189	3.274	3.100	0.274	11
NH3+4-N f. (mg/l)	0.016	0.045	0.094	0.096	0.140	11
NO2+3-N f. (mg/l)	0.038	0.312	1.534	0.806	0.896	11
Total-N (mg/l)	2.660	2.831	3.550	3.119	0.651	11
Ortho-P f. (mikro.g/l)	232.308	283.333	331.667	282.453	65.728	11
Total-P (mikro.g/l)	609.857	804.600	1059.500	837.744	344.766	11
Silicium f (mg/l)	0.366	0.877	2.942	1.573	1.342	11
pH (pH)	8.830	9.410	9.573	9.205	0.458	11
Susp. TS (mg/l)	33.200	46.769	73.250	51.815	21.906	11
Susp. GT (mg/l)	15.923	21.800	35.800	24.958	9.999	11
Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1991						
Part. COD (mg/l)	17.347	22.050	27.167	22.561	7.275	11
Klorofyl (mikro.g/l)	146.308	212.857	257.269	198.170	78.926	11
Sigtdybde (meter)	0.433	0.491	0.557	0.497	0.079	11
Total Alk. (mækv/l)	2.360	2.768	3.005	2.685	0.364	11
NH3+4-N f. (mg/l)	0.010	0.018	0.138	0.110	0.181	11
NO2+3-N f. (mg/l)	0.072	0.437	1.693	1.324	1.866	11
Total-N (mg/l)	2.313	2.670	3.798	3.431	1.713	11
Ortho-P f. (mikro.g/l)	69.000	105.200	161.400	115.262	61.282	11
Total-P (mikro.g/l)	386.231	493.214	650.600	502.947	163.034	11
Silicium f (mg/l)	0.714	1.576	2.600	1.711	1.134	11
pH (pH)	8.772	9.104	9.287	9.013	0.363	11
Susp. TS (mg/l)	31.941	42.500	51.800	43.472	13.328	11
Susp. GT (mg/l)	21.615	23.000	27.667	23.303	5.403	11

Station : 110903
 Navn : Brabrand Sø
 Lokaltet : (BRA3) - Vestbassin midt
 Udtræksdybde : 0.00 - 2.00

Parameter og enhed	25% F. Tidsv.	Median Tidsv.	75% F. Tidsv.	Gennemsnit Tidsv.	Stand.afv. Tidsv.	Antal
Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1992						
Part. COD (mg/l)	15.314	20.757	23.737	19.689	6.079	10
Klorofyl (mikro.g/l)	192.857	225.000	244.667	221.762	49.599	10
Sigt dybde (meter)	0.426	0.500	0.550	0.498	0.071	10
Total Alk. (mækv/l)	2.119	2.470	2.668	2.370	0.350	10
NH ₃ +4-N f. (mg/l)	0.014	0.021	0.058	0.042	0.042	10
NO ₂ +3-N f. (mg/l)	0.037	0.339	1.062	0.856	1.250	10
Total-N (mg/l)	2.602	2.626	3.063	3.143	1.173	10
Ortho-P f. (mikro.g/l)	24.714	61.286	96.867	66.192	45.769	10
Total-P (mikro.g/l)	291.857	365.929	528.692	407.231	144.195	10
Silicium f (mg/l)	0.930	2.136	2.823	1.918	1.082	10
pH (pH)	9.012	9.213	9.316	9.144	0.218	10
Susp. TS (mg/l)	36.143	39.231	41.538	40.402	7.636	10
Susp. GT (mg/l)	16.714	18.308	21.714	19.505	3.383	10
Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1993						
Part. COD (mg/l)	20.800	27.200	36.527	28.579	10.304	11
Klorofyl (mikro.g/l)	150.714	174.000	196.250	208.557	110.881	11
Sigt dybde (meter)	0.350	0.400	0.531	0.447	0.155	11
Total Alk. (mækv/l)	2.457	2.557	2.693	2.556	0.393	11
NH ₃ +4-N f. (mg/l)	0.015	0.024	0.116	0.072	0.079	11
NO ₂ +3-N f. (mg/l)	0.047	0.455	0.837	0.891	1.345	11
Total-N (mg/l)	2.442	2.843	3.181	2.995	1.304	11
Ortho-P f. (mikro.g/l)	63.923	76.200	87.857	73.312	20.669	11
Total-P (mikro.g/l)	353.250	458.267	578.923	459.894	156.524	11
Silicium f (mg/l)	0.397	1.856	3.900	2.337	2.040	11
pH (pH)	8.510	8.715	8.862	8.672	0.258	11
Susp. TS (mg/l)	28.438	51.000	62.333	48.888	22.455	11
Susp. GT (mg/l)	17.083	23.600	28.733	23.798	9.146	11
Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1994						
Part. COD (mg/l)	16.433	21.529	27.800	22.831	6.871	11
Klorofyl (mikro.g/l)	59.000	173.571	195.714	145.367	66.130	11
Sigt dybde (meter)	0.371	0.468	0.562	0.471	0.110	11
Total Alk. (mækv/l)	2.423	2.627	2.829	2.641	0.230	11
NH ₃ +4-N f. (mg/l)	0.010	0.013	0.016	0.072	0.148	11
NO ₂ +3-N f. (mg/l)	0.026	0.430	1.521	0.830	0.888	11
Total-N (mg/l)	2.313	2.437	3.155	2.813	0.700	11
Ortho-P f. (mikro.g/l)	23.167	51.286	91.214	62.228	42.599	11
Total-P (mikro.g/l)	283.818	328.286	487.500	381.620	135.405	11
Silicium f (mg/l)	0.698	1.364	2.179	1.620	1.048	11
pH (pH)	8.545	8.756	9.051	8.772	0.305	11
Susp. TS (mg/l)	37.333	45.429	53.214	45.642	9.744	11
Susp. GT (mg/l)	14.636	20.286	24.357	20.266	5.263	11
Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1995						
Part. COD (mg/l)	16.400	20.343	33.231	24.296	9.587	10
Klorofyl (mikro.g/l)	81.864	122.692	196.857	139.858	69.775	10
Sigt dybde (meter)	0.479	0.514	0.550	0.497	0.080	10
Total Alk. (mækv/l)	2.435	2.653	2.843	2.620	0.266	10
NH ₃ +4-N f. (mg/l)	0.012	0.026	0.083	0.056	0.065	10
NO ₂ +3-N f. (mg/l)	0.142	0.681	1.218	0.739	0.635	10
Total-N (mg/l)	2.360	2.658	3.013	2.758	0.464	10
Ortho-P f. (mikro.g/l)	26.625	46.650	91.000	63.970	51.960	10
Total-P (mikro.g/l)	252.000	333.143	391.000	332.529	95.114	9
Silicium f (mg/l)	0.735	1.633	2.167	2.058	1.838	10

Station : 110903
 Navn : Brabrand Sø
 Lokalitet : (BRA3) - Vestbassin midt
 Udtræksdybde : 0.00 - 2.00

Parameter og enhed	25% F. Tidsv.	Median Tidsv.	75% F. Tidsv.	Gennemsnit Tidsv.	Stand.afv. Tidsv.	Antal
Fortsat.						
pH (pH)	8.554	8.795	9.000	8.748	0.285	10
Susp. TS (mg/l)	32.771	44.462	58.000	44.079	14.760	10
Susp. GT (mg/l)	16.429	18.000	28.000	21.658	7.418	10

Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1996

Part. COD (mg/l)	26.844	32.200	40.880	33.149	8.754	10
Klorofyl (mikro.g/l)	163.571	198.875	267.692	213.180	76.970	10
Sigt dybde (meter)	0.335	0.400	0.500	0.433	0.144	10
Total Alk. (mækv/l)	2.171	2.223	2.429	2.251	0.219	10
NH3+4-N f. (mg/l)	0.009	0.011	0.014	0.011	0.003	10
NO2+3-N f. (mg/l)	0.029	0.062	0.102	0.197	0.351	10
Total-N (mg/l)	2.387	2.686	3.090	2.747	0.410	10
Ortho-P f. (mikro.g/l)	11.143	23.000	75.214	44.661	43.796	10
Total-P (mikro.g/l)	202.286	348.057	499.857	349.122	151.467	10
Silicium f (mg/l)	0.615	0.891	1.357	1.060	0.653	10
pH (pH)	8.788	8.920	9.045	8.895	0.246	10
Susp. TS (mg/l)	39.250	43.769	49.714	44.853	11.280	10
Susp. GT (mg/l)	17.286	26.143	31.769	24.456	8.494	10

Sommerstatistik for 1/5 - 30/9 1997

Part. COD (mg/l)	13.174	17.500	27.111	20.475	8.606	5
Klorofyl (mikro.g/l)	88.929	105.259	148.214	128.421	55.594	5
Sigt dybde (meter)	0.371	0.430	0.541	0.466	0.121	5
Total Alk. (mækv/l)	2.386	2.519	2.642	2.499	0.227	5
NH3+4-N f. (mg/l)	0.027	0.042	0.119	0.088	0.098	5
NO2+3-N f. (mg/l)	0.186	0.538	1.733	1.026	1.124	5
Total-N (mg/l)	2.679	3.268	3.868	3.307	0.794	5
Ortho-P f. (mikro.g/l)	23.241	37.207	44.778	38.349	17.194	5
Total-P (mikro.g/l)	204.259	307.667	337.571	277.318	69.872	5
Silicium f (mg/l)	2.210	2.557	5.207	3.609	1.803	5
pH (pH)	8.276	8.520	8.777	8.547	0.340	5
Susp. TS (mg/l)	28.333	32.926	35.889	33.310	5.537	5
Susp. GT (mg/l)	19.667	23.964	26.500	22.580	4.862	5

Brabrand Sø, 1997

Fytoplankton volumenbiomasse mm ³ /l = mg vådvægt/l	DATO								
	970319	970428	970604	970616	970618	970716	970814	970911	971209
Taxonomisk gruppe									
Cyanophyta									
Microcystis aeruginosa				.3678	.0029				
Microcystis flos-aquae								.5335	
Microcystis spp.								.0106	
Anabaena sp.			.0951						
Anabaena solitaria							.4123		
Anabaena spp.							99.394	2.3820	
Pseudanabaena limnetica			44.401	.2871	1.9840				
Planktothrix agardhii			2.2474	.8354	12.407	15.064			.0472
Blågrønalgelignende celler				.5508					
Cryptophyceae									
Cryptomonas sp.						.5220		.0688	
Cryptomonas spp. (20-30µm)			1.0674	.0853					
Cryptophyceae spp. (5-10 µm)			.1081						
Cryptophyceae spp. (15-20 µm)			.3593	.0390					
Diatomophyceae									
Aulacoseira granulata var. angustissima			.0053	.0232					
Aulacoseira italica				.0213					
Centriske kiselalger spp. (< 10 µm)	.2985	.2870	7.5832	1.7720	.3005				
Centriske kiselalger spp. (10-20 µm)	.5569	1.4255	38.152	3.8127	.8120	2.8642			
Asterionella formosa	.0364	.2293		.0031					.6361
Diatoma elongatum			.6741	.0073					
Synedra acus			.0173	.0375					
Pennate kiselalger spp. (30-50 µm)	.0545	.2541	.9062	.0524					.0076
Pennate kiselalger spp. (50-100 µm)	.0436			.1875	.0375				.0295
Euglenophyceae									
Euglena sp.			.0011						
Phacus sp.			.0012						
Chlorophyceae									
Pandorina sp.						.0191			
Volvocale grønalger spp. (>10 µm)						.1807			
Pediastrum boryanum			.0571	.2119					
Pediastrum duplex			.0144	.6629	.1328				
Scenedesmus acuminatus			.4742	.8382					
Scenedesmus spp., Acutodesmus gruppen			.1002		.1697	.0691			
Scenedesmus spp., Desmodesmus gruppen	.0452	.0598							
Scenedesmus spp.			.6016	3.6786	.7380	.0051		.0152	

Brabrand Sø, 1997

Fytoplankton volumenbiomasse mm ³ /l = mg vådvægt/l	DATO								
	970319	970428	970604	970616	970618	970716	970814	970911	971209
Actinastrum hantzschii			.2648	.1421		.0145			
Closterium sp.			.0008	.0025					
Closterium acutum var. variable									.0041
Ubestemte eller fåtallige celler									
Ubestemte flagellater (A) (5-10 µm)			.1284						
Zoomastigophora									
Ubestemte flagellater (H) (15-20 µm)			2.6295						

Fytoplankton volumenbiomasse SUM mm ³ /l = mg vådvægt/l	DATO								
	970319	970428	970604	970616	970618	970716	970814	970911	971209
GRAND TOTAL	1.035	2.256	99.889	13.619	16.585	18.739	99.806	3.010	.724
Taxonomisk gruppe									
Cyanophyta			46.743	2.041	14.394	15.064	99.806	2.926	.047
Cryptophyceae			1.535	.124		.522		.069	
Diatomophyceae	.990	2.196	47.338	5.917	1.150	2.864			.673
Euglenophyceae			.002						
Chlorophyceae	.045	.060	1.513	5.536	1.041	.289		.015	.004
Ubestemte eller fåtallige celler			.128						
Zoomastigophora			2.630						

	Tørstof %	Glødetab % af tørstof	Kvælstof g/kg tørstof	Fosfor g/kg tørstof	Calcium g/kg tørstof	Jern g/kg tørstof
vest						
0 - 5 cm	14,80	15,10	8,18	2,30	150	33
5 -10 cm	17,30	14,80	8,30	2,01	150	33
10 - 15 cm	19,50	14,50	8,17	1,50	150	36
15 - 25 cm	26,70	10,20	5,40	0,92	200	29
midt						
0 - 5 cm	16,90	11,70	6,97	2,00	170	23
5 -10 cm	20,30	11,80	7,09	1,22	170	22
10 - 15 cm	23,10	12,10	6,98	1,29	190	30
15 - 25 cm	25,50	12,20	6,71		160	30
øst						
0 - 5 cm	14,10	13,70	8,47	1,68	200	25
5 -10 cm	17,00	13,60	8,42	1,48	200	25
10 - 15 cm	18,50	14,00	8,77	1,17	170	21
15 - 25 cm	20,40	13,60	8,17	1,06	150	21

Sedimentanalyserne fra Brabrand Sø i 1999 for de fire dybdeintervaller : 0 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10 - 15 cm og 15 - 25 cm fra henholdsvis øst- midt- og veststationerne i søen.